惑星へ

カール・セーガン

森 暁雄［監訳］

PALE BLUE DOT

A VISION OF THE HUMAN FUTURE IN SPACE

CARL SAGAN

カール・セーガン

1934年～96年。元コーネル大学教授、同大学惑星研究所長。マリナー、バイキング、ボイジャーなどNASAの惑星探査計画で指導的な役割を果たした。著書に『宇宙との連帯』(河出書房新社)『エデンの恐竜』(ピュリツァー賞受賞 秀潤社)『COSMOS』(朝日文庫)『サイエンス・アドベンチャー』(新潮社)『はるかな記憶』(アン・ドルーヤンとの共著 朝日文庫)などがある。

森暁雄（もり・あけお）

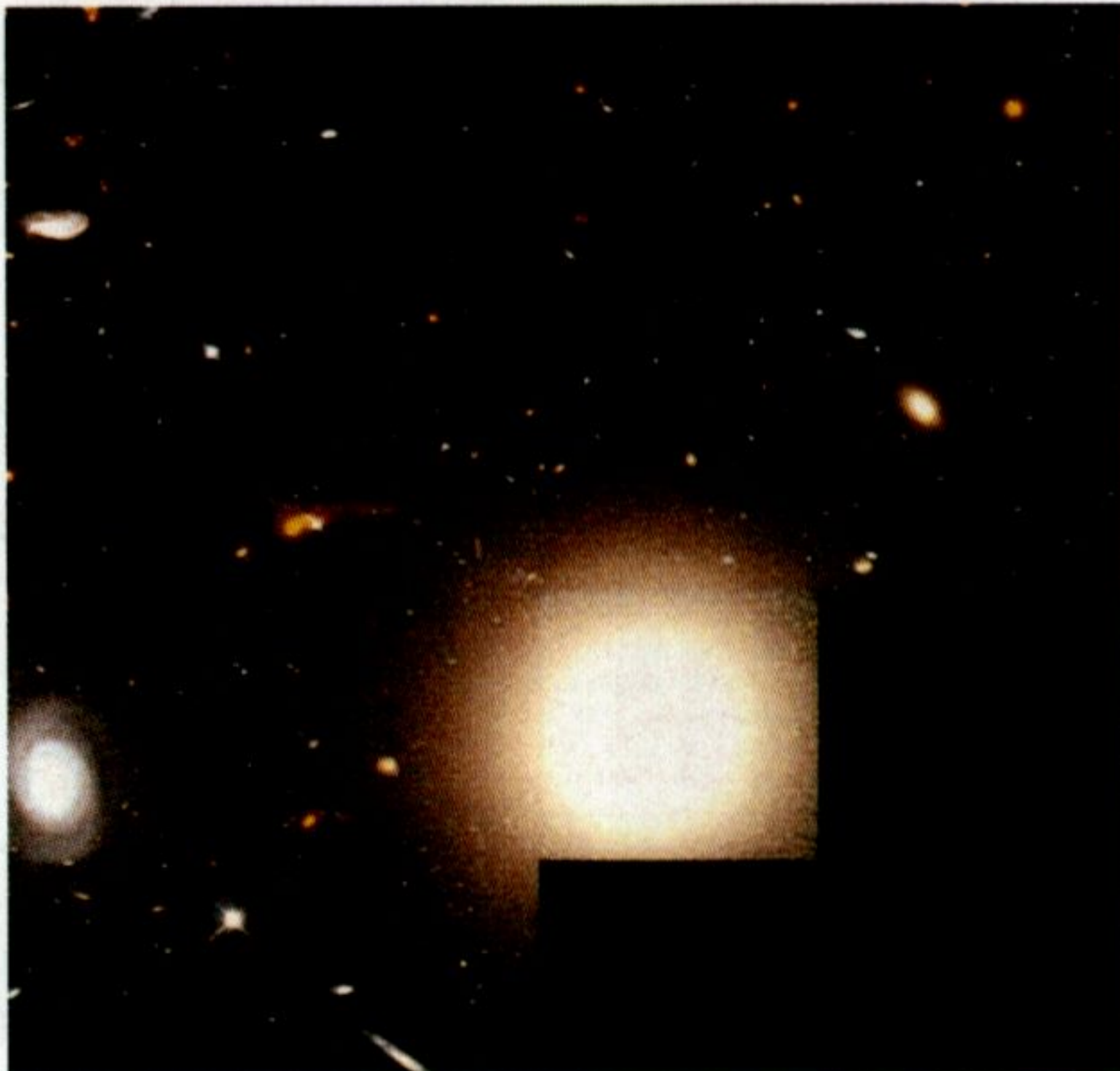
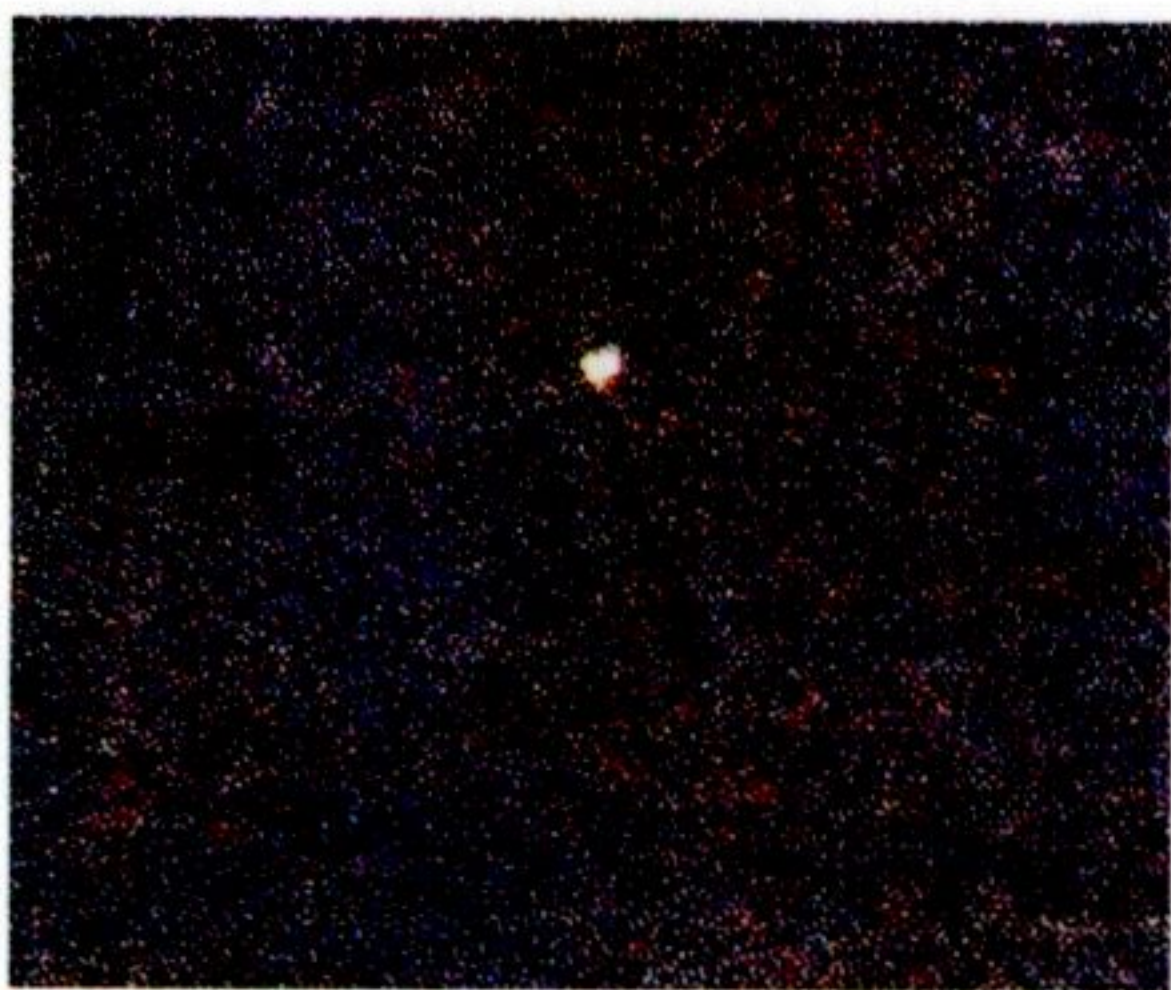
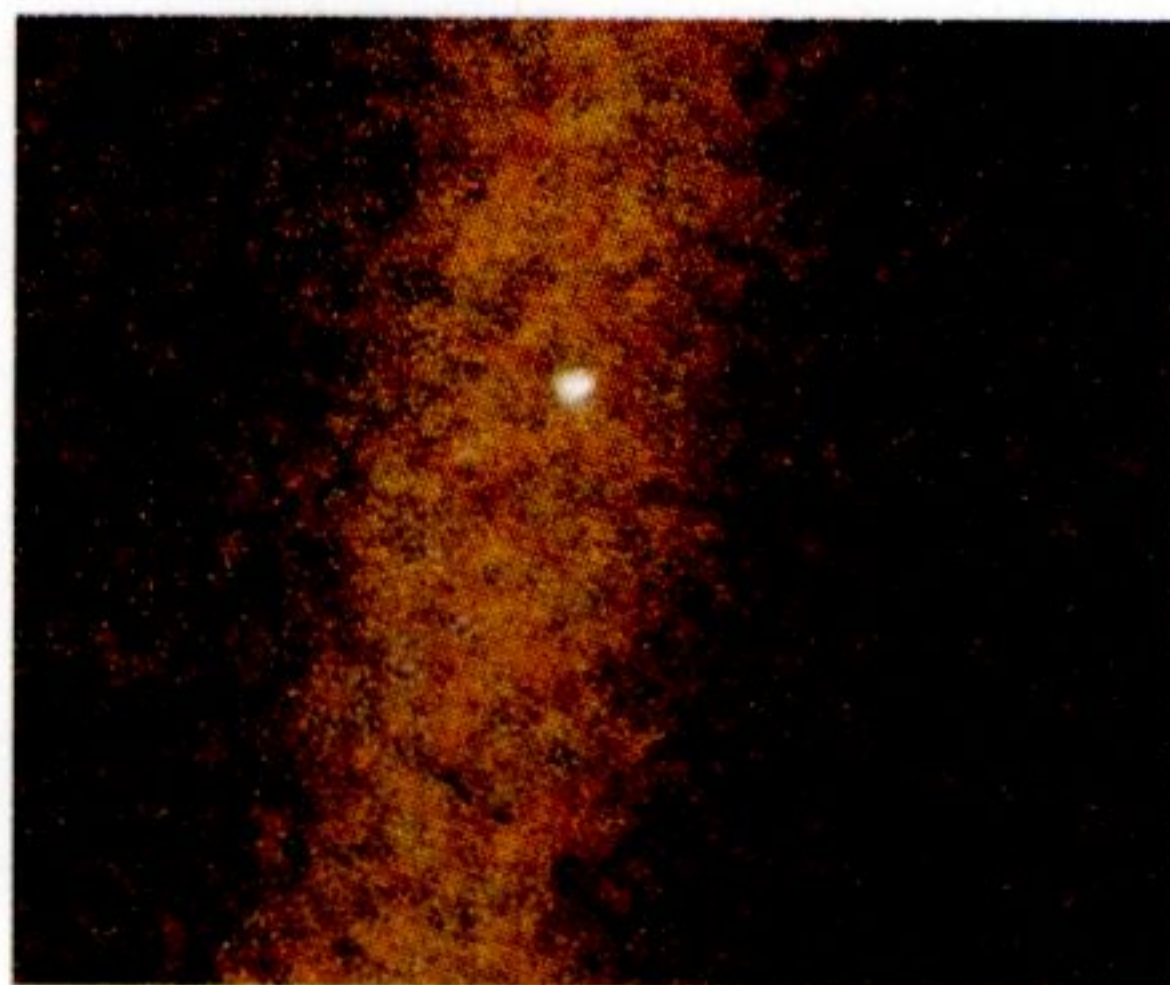
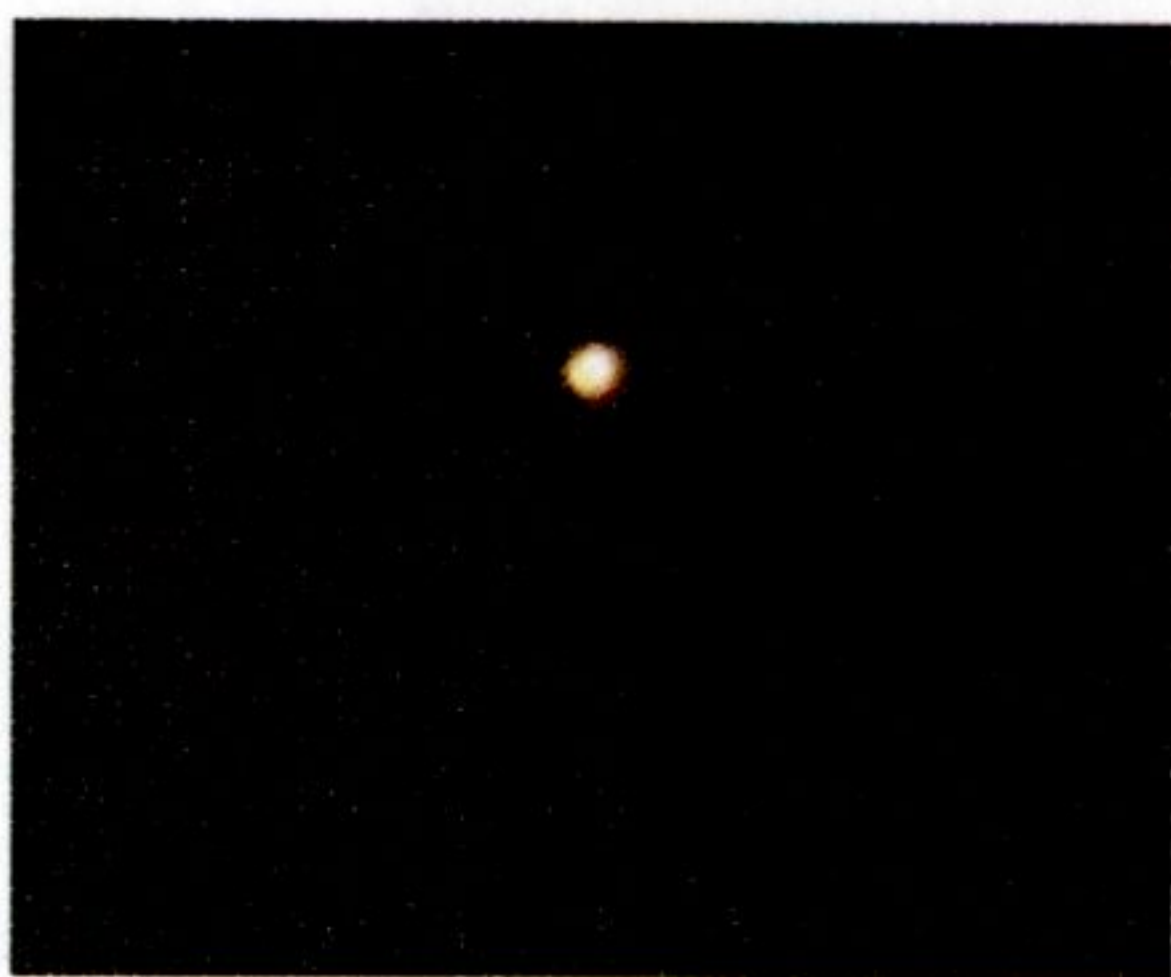
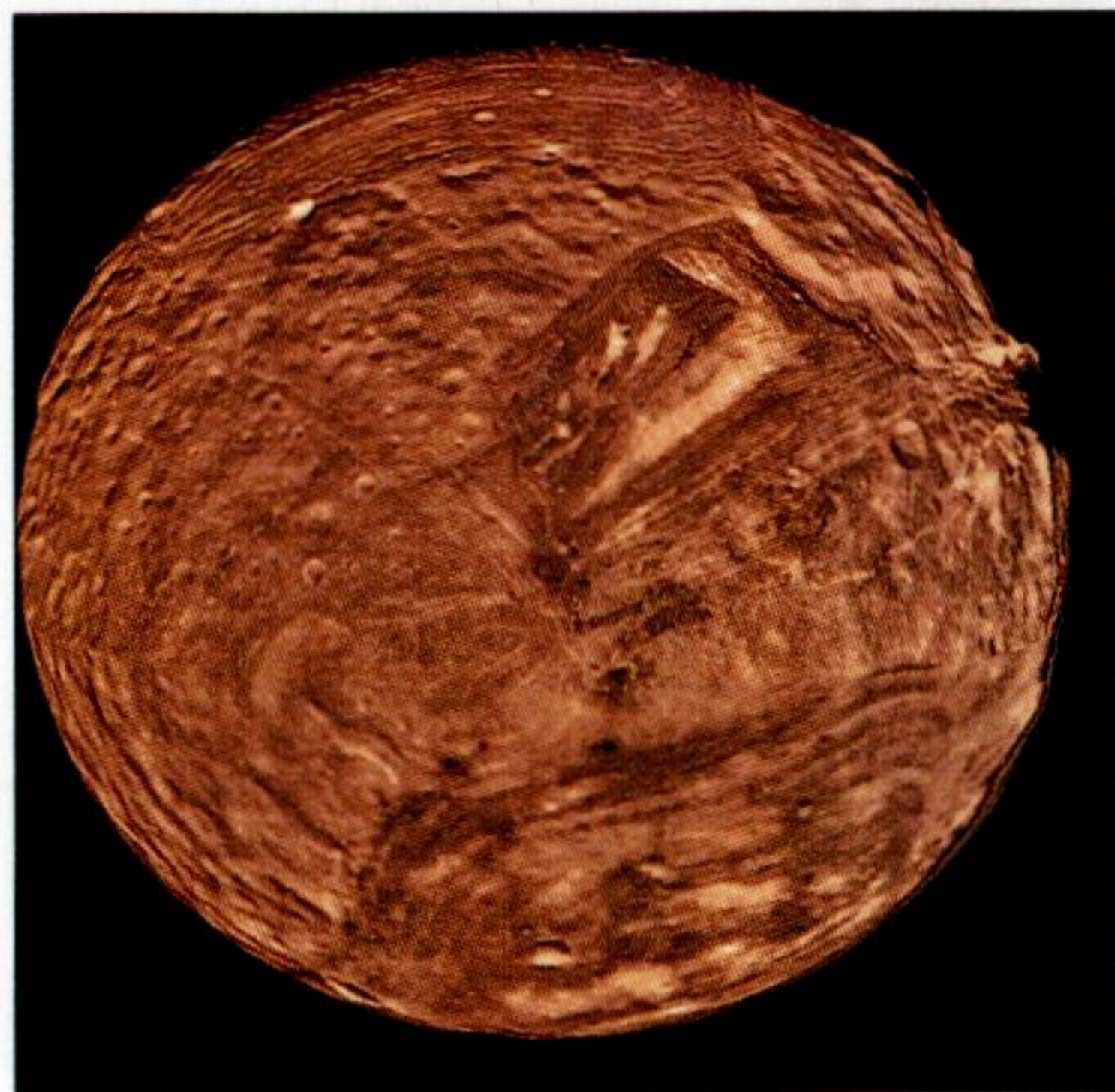
1937年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。「科学朝日」編集長、科学部長、調査研究室主任研究員などを経て、現在朝日新聞社友。訳書にコールダー『爆発する宇宙』(小尾信彌との共訳 朝日新聞社)ラーナー『望遠鏡の歴史』(同 朝倉書店)ライトマン『天文学の新時代』(朝日新聞社)などがある。

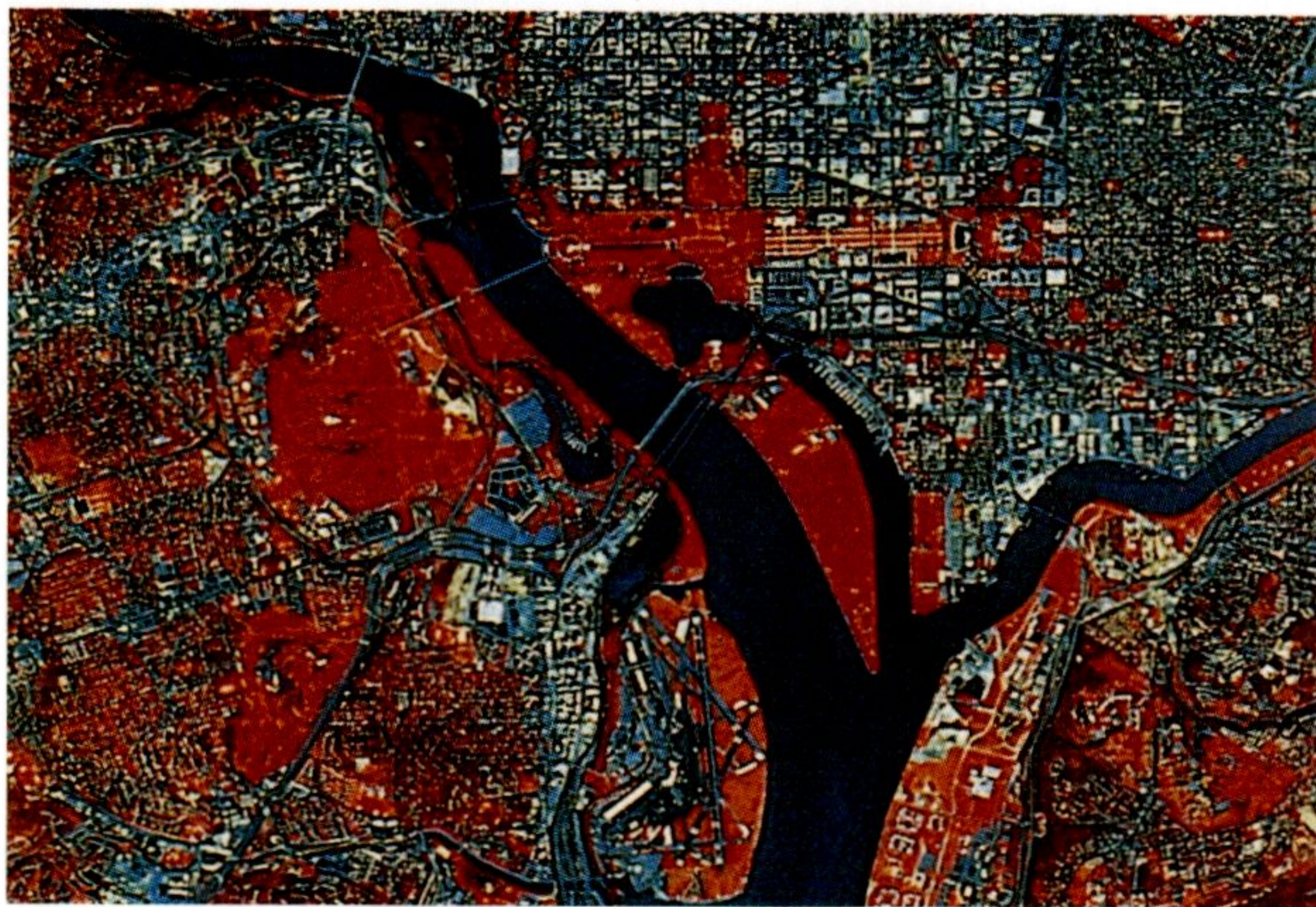
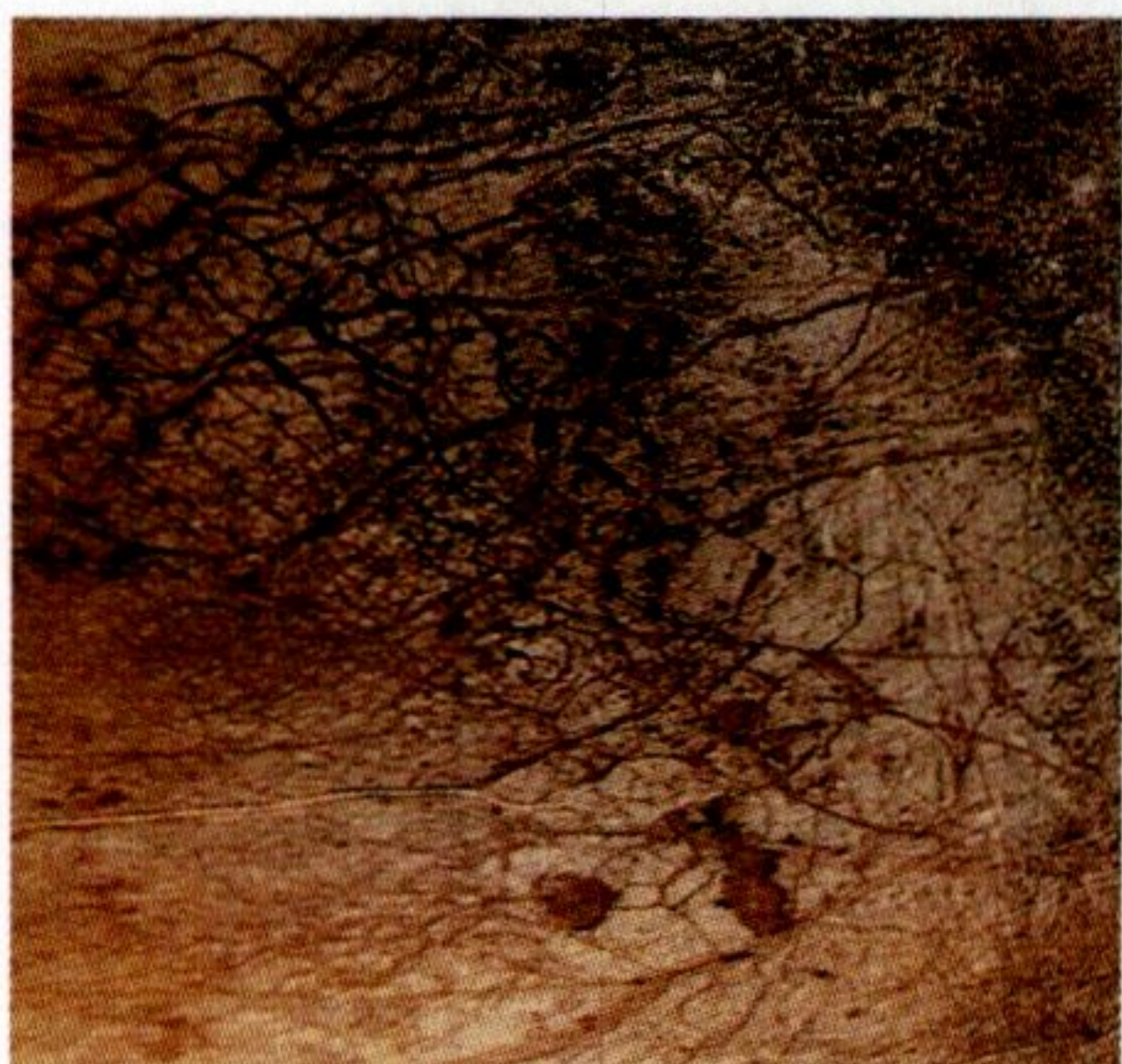
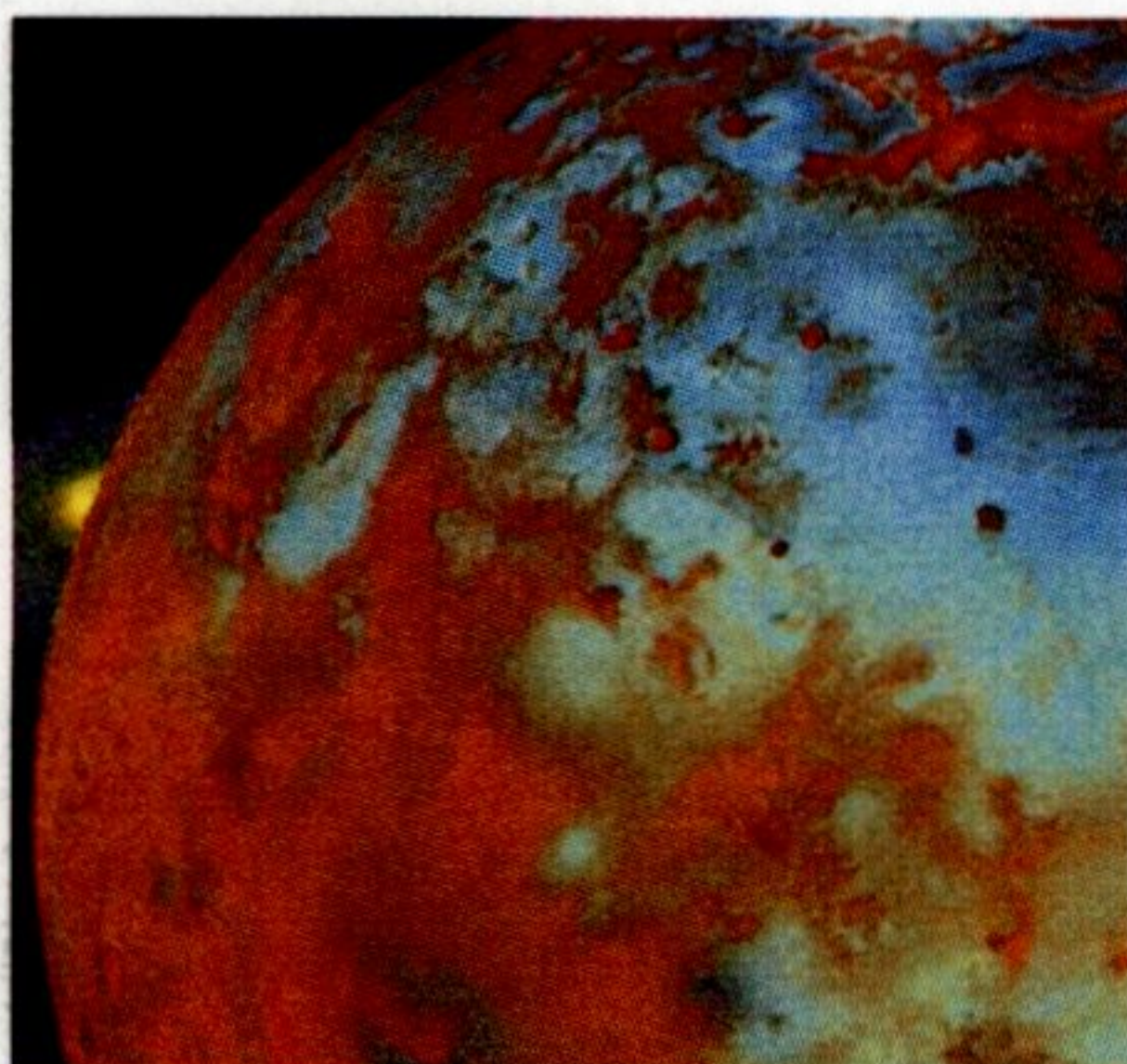
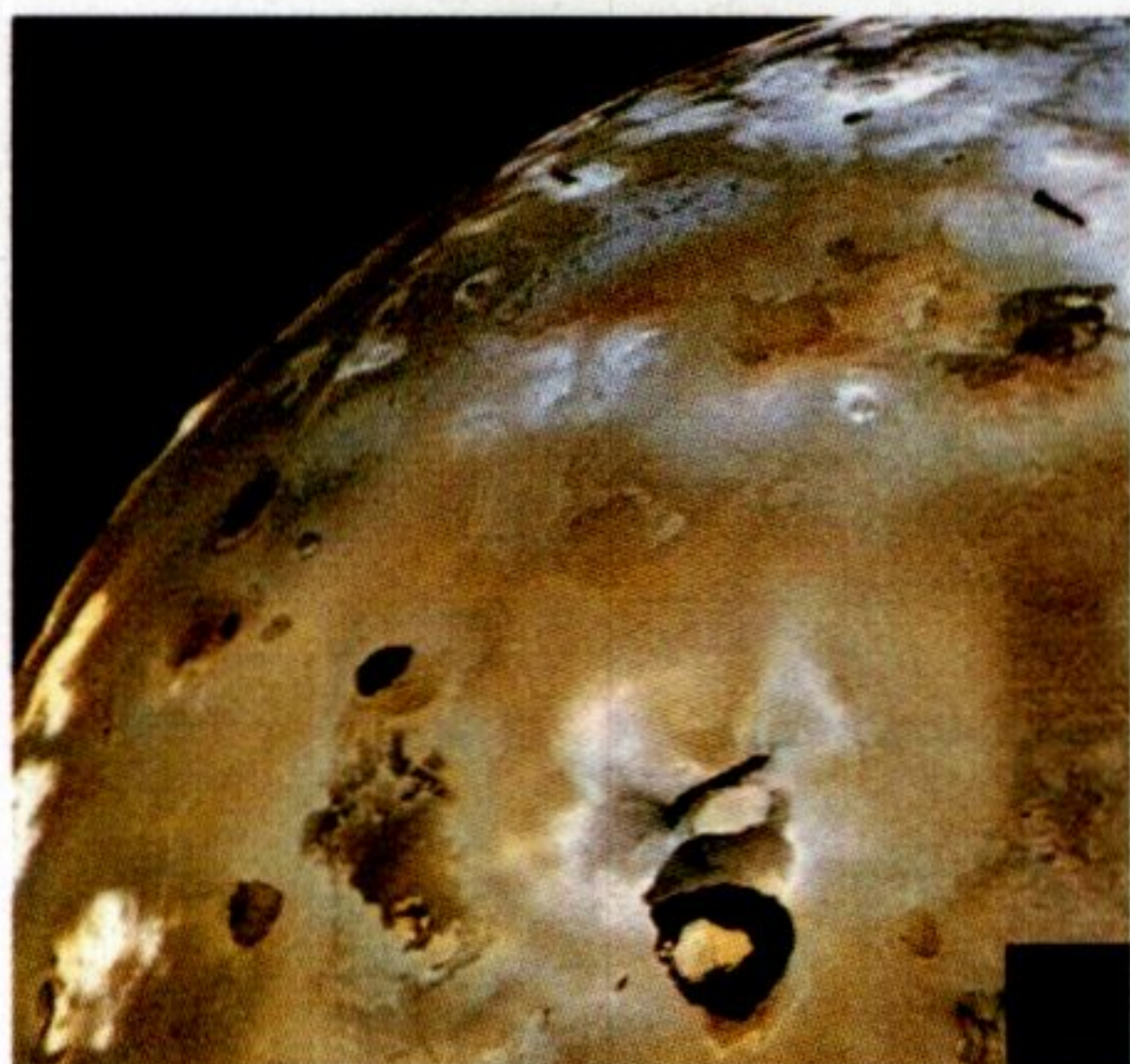
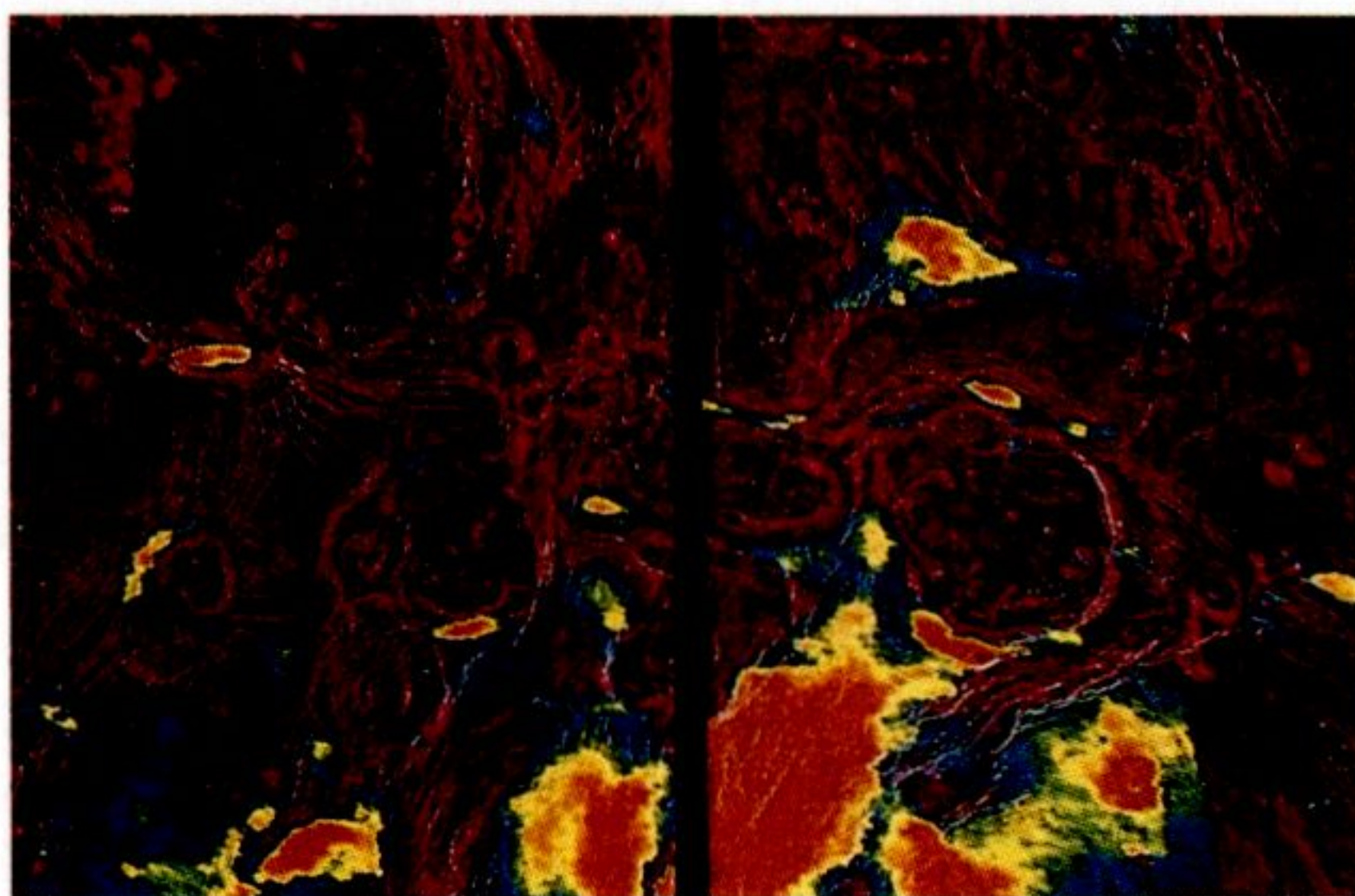
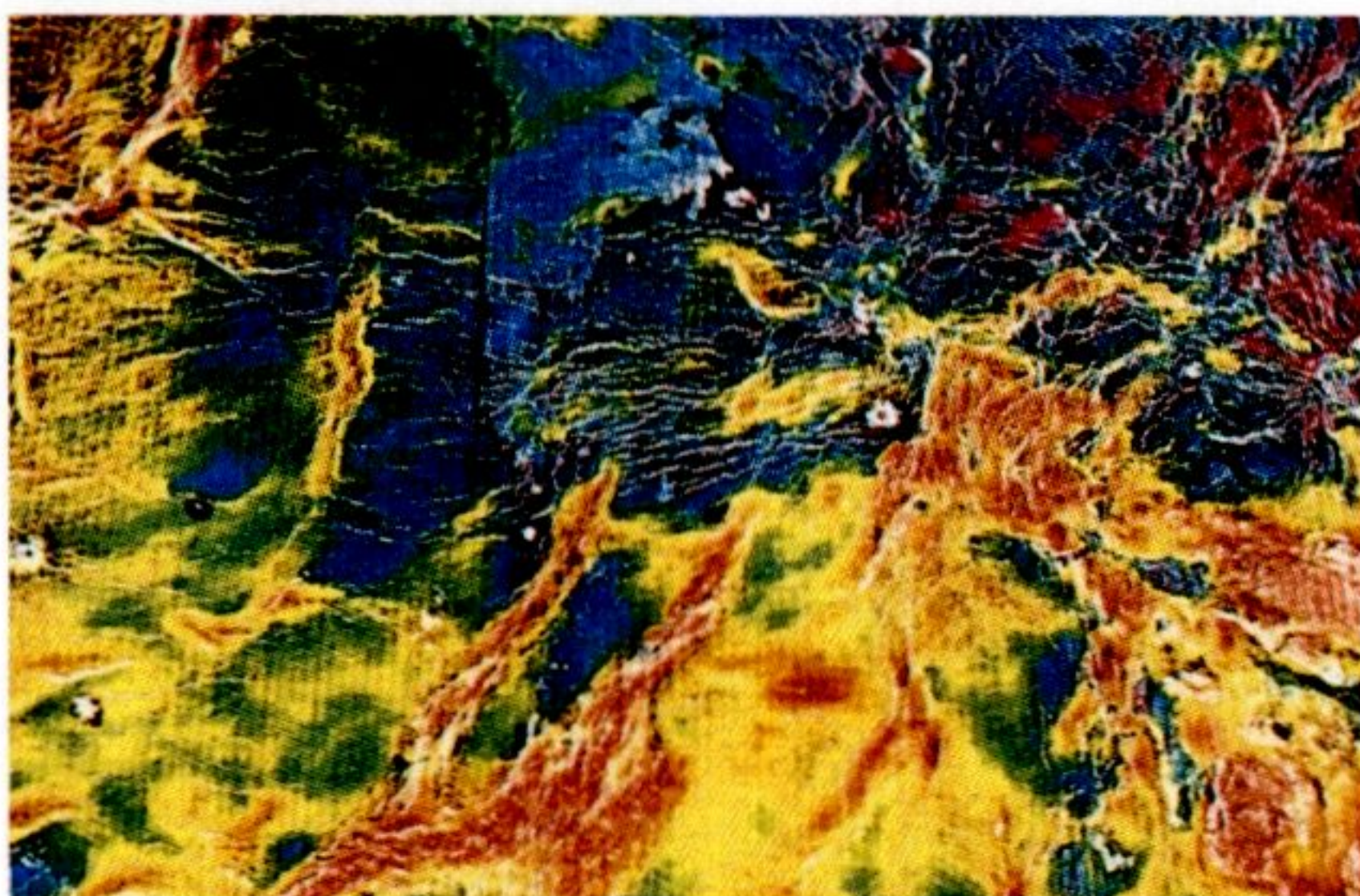
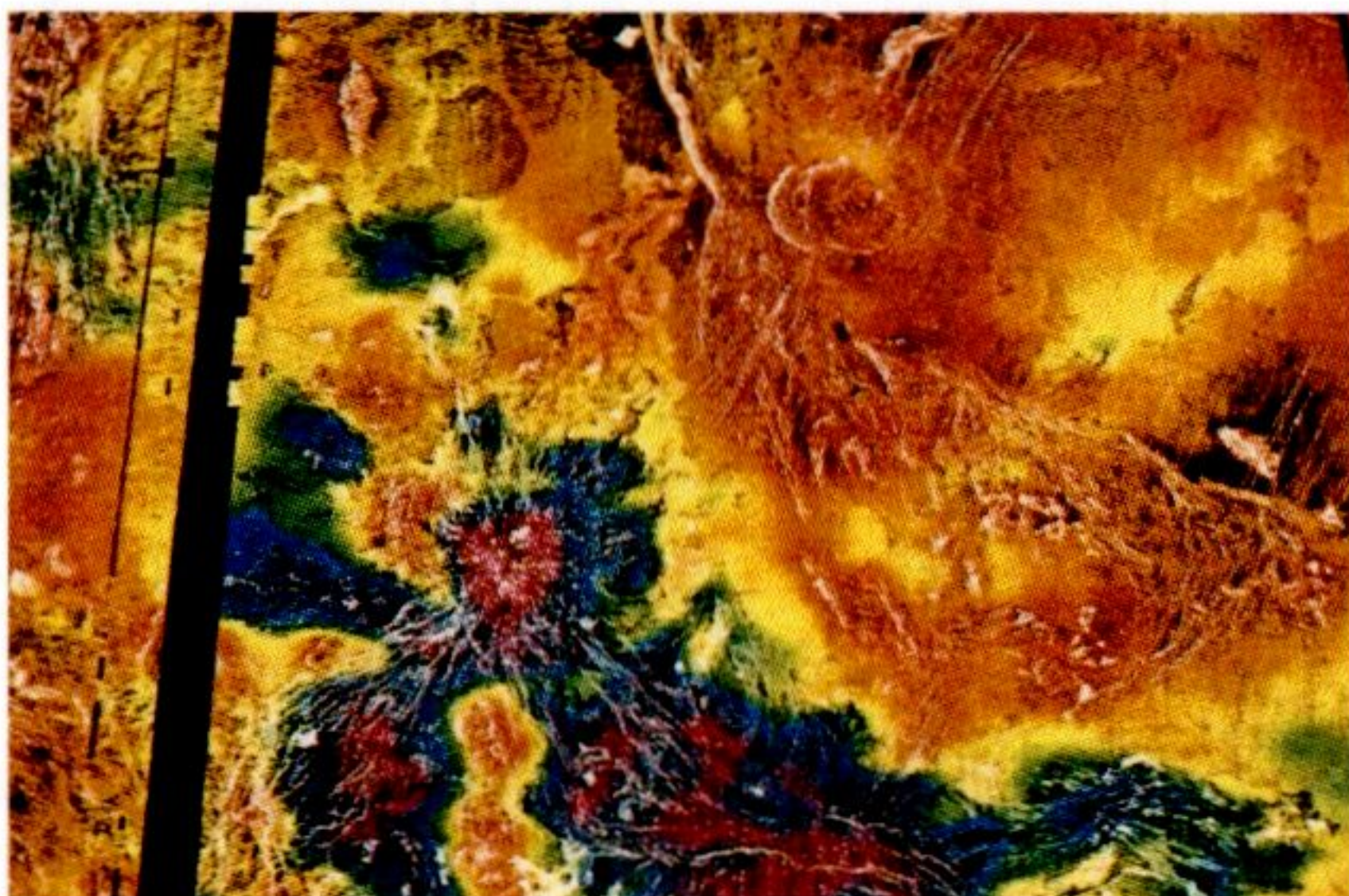
カバー装幀＝鈴木成一デザイン室
写真＝PPS通信社

惑 星 へ（上）

カール・セーガン
森 暁雄　監訳

朝日文庫

1　アポロ17号から撮影された地球の全景写真

2　約３億7000万光年の距離にある、かみのけ座銀河団の一部(ハッブル宇宙望遠鏡撮影)

3　海王星と冥王星の軌道を越えたところからボイジャー１号が撮影した惑星

4　スペースシャトル・ディスカバリーがとらえた地球の大気の青い帯。日没時のため、入道雲が成層圏まで達しているのが見える

5　ボイジャーが撮影した天王星の衛星ミランダの、太陽系でもっとも異様な風貌

6　高解像度で見た地球
上　ワシントン。右やや上に連邦議会議事堂、ほぼ中央にペンタゴンが見える
下　格子模様のような緑の四角形は、すべて南カリフォルニアの農場である

7　それぞれ異なった顔を見せる木星の衛星（ボイジャー撮影）
ガニメデ（上)、イオ（中２点)、エウロパ（下）
左中の写真中央はイオの活火山ロキ・パテラ。右中の写真地平線上に見えるのは、その火口からたちのぼる噴煙

8　マゼラン探査機が撮影した金星の表面

惑星へ（上）　目次

惑星へ（上）

いま一人のさすらい人である、サムへ
きみたちの世代が、私たちには想像だにできなかったような
驚異の数々を目の当たりにすることを願って

序章　さすらい人

だがいったいこれはなにものなのだ。この渡り歩きの者たちは、……

ライナー・マリア・リルケ『ドゥイノの悲歌』第五の歌（一九二三年）から。手塚富雄訳

そもそもの始まりから、私たちはさすらい人であった。一〇〇キロメートル以上にもわたる木立の、どこに何の木があるかを知っていたから、熟した果実をみのらせている木のところへ、かんたんに行くことができた。季節によって移動する獣の群れを追って歩いたから、新鮮な肉には恵まれていた。狩りのときには協力して、こっそりと近づいたり、牽制したり、待ち伏せたり、あるいは一斉に攻撃したりすることによって、一人きりの狩りではできない成果を上げた。私たちはお互いを頼みにしあった。一人でやり遂げることは、定住することと同じようにばかげたことに思えた。

協力することによって、私たちは子どもたちをライオンやハイエナから守った。子どもたちに必要な技を教えた。そして、道具も。いまでもそうであるように、そのころも、技術は

生きるための鍵を握っていた。

旱魃（かんばつ）が長引いたり、夏なのに冷気がいすわってしまったりすると、私たちは移動し、時には見知らぬ土地にも行った。いつも、よりよい場所を探した。小さな群れのなかで仲よくやっていけなくなると、分かれてほかの場所で別の仲間を求めた。いつでも最初からやり直すことができた。

人類がはじめて現われて以来今日までの時間のうち九九・九パーセントを、私たちはサバンナとステップの狩人、略奪者、そしてさすらい人として過ごした。国境警備隊もなければ、税関職員もいなかった。どこであろうが私たちの行く場所、それがすなわちフロンティアだった。私たちをさえぎるものは、大地と海と空、それに時折現われる無愛想な隣人だけであった。

とはいえ、気候が適し、食物がたくさんあれば、私たちは喜んで腰を落ち着けた。冒険はせず、太りすぎを気にかけるほど体重を増やし、心配する材料もなかった。人類の長い歴史を考えればほんの一瞬にすぎないこの一万年の間、私たちはさすらいの暮らしを捨てた。植物と動物を育てるようになり、食物を手に入れるすべを手にしたのに、どうして食物を追い求める必要があるだろうか。

だが、物質的には恵まれているにもかかわらず、私たちは定住生活にいらだち、満たされることがなかった。田舎で、都市で、四〇〇世代を経たあとも、私たちは忘れることがなか

った。未知の世界がいまも、忘れかけた幼時の歌のように、そっと呼びかける。私たちは、どこかは分からないが、いまいるところからはるかに隔たった場所に、ある種の夢を抱く。「かなた」に恋焦がれる心は、私たちの生存に不可欠の要素として、自然淘汰によって丹念に作り上げられてきたのではないか、と私は思う。長い夏やおだやかな冬、豊かな実り、たっぷりの獲物……。どれも永遠に続くものではない。未来を予知する能力は、私たちには備わっていない。大災害はこっそりと忍び寄ってきて、知らぬ間に私たちを捕らえてしまう。もしかしたら、個人や群れのみならず、人類という種の生命は、絶えず休むことのない少数の人々の恩恵をこうむっているのかもしれない。自分では表現することも理解することもできない強い欲求によって、未発見の土地や新たな世界に引きつけられてやまない人々の。

ハーマン・メルヴィルは『白鯨』のなかで、いつの時代でも、どこにいても、変わらぬさすらい人の思いを代弁して、こう書いている。「私は絶えず　遠なるものに渇望しているのだ。禁断の海原を帆走り野蛮の岸辺に上陸することを好む。……」(阿部知二訳)

古代ギリシャとローマの人々が知っていた世界は、ヨーロッパと一部のアジア、アフリカだけからなり、彼らは、その世界が、越すことのできぬ海洋に取り囲まれていると思っていた。旅人が出会うのは、野蛮人と呼ばれる人に劣った者たちか、神と呼ばれる人に優れた者たちであるとされていた。すべての木にはそれぞれ木の精が宿り、すべての地方に伝説上の英雄がいた。しかし、神々の数は、少なくとも最初のうちは、それほど多くはなく、せいぜ

い数十人というところだった。山上や地下、海、空などに住む神々は、人々に神託をもたらし、人間界の物事に干渉し、人間と交わって子を産んだ。

時がたって、人間の探検の力が増してくると、さまざまな驚くべきことどもが発見された。野蛮人と呼ばれた者たちは、ギリシャ人やローマ人とまったく同じように賢かった。アフリカもアジアも、考えられていたより大きかった。海洋は越すことができなくはなかった。地球には裏側があった(＊1)。アジア人が長年住んでいて、ヨーロッパにはついぞニュースが伝わったことがない、新たな三つの大陸があることが分かった。また、残念なことに、神々は見つからなかった。

旧世界から新世界へ人類の最初の大移動は、約一万一五〇〇年前、最後の氷期の間に起こった。そのとき、極の氷が成長して海が浅くなり、シベリアからアラスカへ、陸橋を歩いて渡れるようになった。それから一〇〇〇年後、人類は南米最南端のティエラ・デル・フエゴに達した。コロンブスよりずっと以前に、インドネシアの冒険家たちは西太平洋をアウトリガーカヌー（安定用の浮材をつけたカヌー）で漕ぎ回っていた。マダガスカルにはボルネオから来た人々が住み着いていた。エジプト人とリビア人は船でアフリカを一周した。中国の明朝からは大型で外洋渡航にも耐える帆船（ジャンク）がインド洋を行き来して、ザンジバルに基地を建設し、喜望峰を回って大西洋にも出没していた。一五世紀から一七世紀にかけて、ヨーロッパの大型帆船が（ヨーロッパ人にとっての）新大陸を発見し、地球を一周する

ことに成功した。一八世紀と一九世紀には、米国とロシアの探検家や交易商、開拓者たちが、競って二つの大陸を、一方は西へ他方は東へと横断し、太平洋に向かった。この移動熱は、しかしながら、当事者たちには思いもよらなかっただろうが、明らかに生存のためであった。移動することへの情熱は、特定の国家や民族だけとは限らない、人類のすべてが天性の資質として共通にもっているものなのである。

数百万年の昔、東アフリカに出現して以来、私たちは地球上をさまよい歩いてきた。いまではどの大陸にも、そして陸地からどんなに隔たった島々にも、世界中いたるところに人間が暮らしている。エベレスト山から死海まで、海底でも、そして時には三〇〇キロメートルの上空につくられた住まいでも。さながら昔の神々のように、人間が空に住んでいるのである。

少なくとも陸地に関する限り、もはや探検すべき土地は残っていないように見える。ほかならぬ探検の成果のおかげなのだが、そのせいで、探検家たちはいまや、家で過ごす時間がたいへん長くなった。

膨大な数の（自らの意思によるものはほんの一部で、大多数はそうではない）移住者たちが、人間の生存する条件を決めてきた。今日、私たちの多くは戦争や抑圧、飢饉を免れているが、人類史上、このような時期はかつてなかった。今後数十年間に起こるであろう地球の気候変動によって、きわめて多数の環境難民が発生する恐れがある。私たちは常により良い場所を求めてきたのだし、これからもそうするだろうから。潮の干満のように、人々は地球

上を流れ続けるだろう。しかし、私たちが入手できそうな土地には、すでに先住者がいる。そして彼らは、私たちの窮状に同情的ではない。

一九世紀末、ライプ・グルーバーはだだっぴろくていくつもの民族からなるオーストリア・ハンガリー二重帝国のへんぴな町で成長した。父親は魚がとれれば、それを売った。しかし、しょっちゅう不漁だった。若いライプが見つけた唯一のまともな仕事は、近くのブーク川を人を背負って渡ることだった。客は男も女もライプの肩に乗った。商売道具の自慢の靴で浅瀬を選び、客を対岸まで運んだ。水が腰まで達することもあった。橋もなくフェリーボートもなく、馬はいたが、ほかの仕事に使われていた。そこで、ライプと数人の若者がこの仕事をやることになった。彼らにはほかの使い道がなかったからだ。ほかの仕事などなかった。彼らは渡し賃を叫び、客になるかもしれない人々に、自分がどんなにうまく人を背負って運べるかを吹聴しながら、川岸を歩き回った。自分を四つ足の動物のように売り込んだわけだ。ライプすなわち私の祖父は、いわば荷物運搬の牛馬だった。

ライプは若いころ、故郷の小さなサッソーの町から一〇〇キロメートル以上離れたところへ出かけたことはないと思う。ところが一九〇四年、彼は突然ニューヨークへ逃げてきた。殺人の容疑を避けるためだったと伝えられている。彼は若い妻を残してきた。静かな小さな村とドイツの大きな港町とは、どれほど違って見えただろうか。海はどれほど巨大に、新し

い土地にそびえ立つ摩天楼や絶え間ない喧騒はどれほど異様に見えただろうか。彼の渡航については何も分からないが、彼の妻カイヤが乗った船の乗客名簿が見つかっている。ライプは金を貯めてから彼女を呼び寄せて一緒になったのだ。彼女はハンブルク船籍のバタビア号の最下等船室に乗ってやってきた。書類には胸の張り裂けるような記録が簡潔に記されている。彼女は読み書きができたか。ノー。英語は話せたか。ノー。お金はいくら持っていたか。答えるとき、彼女は傷つき、恥ずかしい思いをしただろう。「一ドルです」

彼女はニューヨークで上陸し、ライプと再び一緒になり、私の母とその妹を産んだが、出産時の合併症で亡くなった。最近、米国では、彼女の名前は英語風にクララと呼ばれることがある。四分の一世紀後、母は最初の子である男児に祖母にちなんだカールという名前をつけた。しかし祖母はそれを知らない。

私たちの遠い祖先は、星空を眺めながら、いわゆる「恒星」とは異なった動きを見せる五つの星に気づいた。この五つの星は奇妙で複雑な動きを示した。数カ月も恒星の間をゆっくりとさすらっているように見えたかと思うと、時には輪を描くように動いたりする。私たちは今日、これらの星を惑星（planet）と呼ぶが、これはさすらい人を指すギリシャ語である。祖先たちが私たちに言い残してくれた特質をよくあらわした言葉だと思う。

惑星は恒星とは別種の天体であり、重力で太陽に縛りつけられていることを私たちは知っ

ている。地球探検が完成しつつあるころ、私たちは地球が、太陽や天の川銀河（銀河系）をつくっている無数の恒星の周りを回る、数のうちには入れられていない多くの天体の一つであることに気づき始めた。地球も太陽も新たな天体の海、つまり宇宙の深みに取り囲まれている。そしてかつて地球の海がそうであったように、これは渡れない海ではない。

　少し早すぎるかもしれない。まだ、適当な時機ではないかもしれない。しかし、膨大な可能性を秘めた、別の世界が私たちを招いているのだ。

　過去数十年の間に米国と旧ソ連とは、目を見張るような、そして歴史に残る成果を上げた。私たちの祖先を不思議がらせ、科学へと導いてくれた光の点、つまり水星から土星までの五つの惑星に接近して観測するのに成功したからである。一九六二年に惑星間飛行が成功して以来、私たちの探査機はもう七〇回以上も、新たな天体の近くをかすめたり、周囲を回ったり、着陸したりした。私たちは、さすらい星の間をさすらってきたのである。そして、私たちは発見した。地球上の最高峰ですらその前にあってはかわいらしく見えるほど広大な火山地形を。二つの惑星では、水が流れていない過去の渓谷を（一方は寒すぎ、もう一方は暑すぎるのだ）。地球が一〇〇〇個も入ってしまうような液体金属水素を内部に抱えた巨大惑星を。全体が溶けてしまった衛星を。高地でも鉛の融点より高温で、腐食性の酸の大気と雲に覆われた場所を。太陽系がつくられた昔の荒々しいのみの跡をいまに残す地形を。冥王星より遠いところから逃げてきた、氷の天体を。重力の巧妙な調和が生んだ優雅な環の模様を。

太古の地球で生命の起源となったのと同じような、複雑な有機分子の雲に包まれた天体を。それらは静かに太陽を回りながら、私たちを待っていたのである。

夜空をさすらう光に思いをはせた祖先が予想もしなかった驚異の数々を、私たちは明らかにした。地球の起源や人類そのものの起源にも、研究を進めている。地球以外の同じような天体が、私たちとは異なる運命をたどったことを近しく見聞することによって、私たちは地球そのものをさらによく理解できるようになってきた。どれも愛すべき、そしてそこから得るところも大きいこのような天体が、しかしまた、すべて荒れ果てて不毛の世界であることも、私たちには分かっている。そこには「より良い土地」はない。少なくともこれまでのところは。

一九七六年七月に始まった無人のバイキングの探査の間、私は一年間、火星で過ごしたようなものだ。大きな石と砂丘を、真昼間でも赤い空を、昔の峡谷を、そびえ立つ火山を、風による荒々しい浸食の跡を、薄い層が幾重にも重なっている極地を、二つのジャガイモのような衛星を、私は調べた。しかし、生命は存在しなかった。コオロギも草の葉も、微生物と呼べるようなものすらいなかった。火星は地球のようには生命によって飾られていなかった。生命は、かなり稀な存在である。数十もの天体を調べても、生命が発生し、進化し、存続しているのはたった一つに過ぎない。

それまで、川より広いところを渡ったことがなかったのに、ライプとカイヤの夫婦は海を

渡ってしまった。大冒険だった。海のこちら側には、たしかに変わった風習をもってはいたが、二人と同じ言葉を話し、いくぶんかは価値観を共有する人々がいて、さらに近親の者もいた。

今日、私たちは太陽系を横断し、ほかの恒星に向けて四個の探査機を飛ばしている。地球から海王星までは、ブーク川の岸からニューヨークまでの一〇〇万倍も遠い。この世界には、私たちを待つ遠い親戚もいなければ人間もおらず、どうやら生命もいないようだ。最近の移住者の手紙、つまり感情のないロボットの使者が光速で放つデジタル・データだけが、新世界を理解するための手がかりである。それらの天体は、地球とはかなり違うようだ。しかし、私たちはそこに住む者を探し続ける。それを抑えることはできない。生命は生命を探し求めるからだ。

たとえ地球上でもっとも裕福な人であっても、そこに移住することはできない。退屈だからとか失業したからとか、徴兵されたからとか、虐げられたからといって、あるいは正当にか不当にかは別にして告発されたからといって、荷物をまとめて火星やタイタンに行くことはできない。個人的な事業が短期で利益を上げるのに適当な場所とはいえないようだ。かりに人類がそのような世界に行くことがあるとしたら、国家や国の連合体が、そうすることが自分たちの利益、あるいは人類にとって利益になると信じたときだろう。目下のところ、私たちの上には、多くの問題がのしかかっていて、ほかの天体に人間を送り込むことなどには、

予算をまわしかねる状況である。

この本が書こうとしているのは、まさにこのような状況なのだ。ほかの天体には何が待っているのか、私たち自身について何を教えてくれるのか、そして、解決しなければならない焦眉の問題をつきつけられた人類が、そこに行くことに何らかの意味があるのだろうか。まず、目の前にある問題を解くべきなのだろうか。それとも、私たちが直面している問題こそが、行くべき理由なのだろうか。

多くの点で、この本は人類の未来に関して楽天的である。最初のほうの各章では、私たちが完全無欠につくられてはいないことを、おもしろがっているようにすら見えるかもしれない。しかし、このいくつかの章のなかに、議論を展開するためには欠かせない、精神的でかつ論理的な土台が横たわっているのである。

私は物事の一つの面だけから見て叙述する、という以上のことをしようと試みた。しばしば私自身のことを述べている個所があるのは、その目的のために、より有効であると思ったからである。最後の章までには、私の来歴が、明らかになるだろうと思う。

この本のおおよその設計は次のようである。まず、私たちの世界と私たちの種は唯一であり、宇宙の活動と目的の中心にいるという、人類の歴史を通じて広く知られた主張を検証する。次いで、探査機による発見の旅に従って太陽系を探検し、人類を宇宙に送り込むもくろみの論拠となってきた事柄を見きわめる。おしまいの、そしてこの本のなかでは推測による

度合いの大きいいくつかの章では、私たちが遠い将来、結局のところ宇宙でうまくやって行くことができるであろうと私が考えていること、そしてそれをどのようなものとして私が思い描いているかを、くわしく語る。

「暗い青い点」(Pale Blue Dot)。この本の題名（原題）に選んだこの言葉は、ゆっくりと私たちに浸透しつつある、宇宙における私たちの座標、居場所についての認識である。道は、すでに開かれている。たとえそこからの呼びかけが、いまはまだ、私たちの耳に聞こえないとしても。人類の将来の中心は、地球のはるかかなたにあるのだ。

（＊1）五世紀に著された『神の国』で、聖アウグスティヌスはこう述べている。「対蹠人（たいせきじん）が存在する、などとうわさされている。すなわち、地の正反対の部分にあって、そこでは、わたしたちのもとでは太陽が沈むときに、太陽が昇るのであるが、わたしたちの足取りとは逆向きに足跡を踏む人びとが存在するというのである。このことが信じられるべきいかなる根拠もないのである」。たとえそこが海でなく陸地であるにせよ、「彼ら独自の祖先がいるのであって、それほど僻遠の地のアダムの子孫が住み着いたなどということは信じがたい」（服部英次郎、藤本雄三訳）。

1

私たちの住むところ

全く地球全体が一点にすぎないのだ。
そして、我々の住む所はこの地球のなんと小さな片隅に過ぎぬことよ。
ローマ皇帝マルクス・アウレリウス『自省録』第四巻（一七〇年ころ）から。神谷美恵子訳

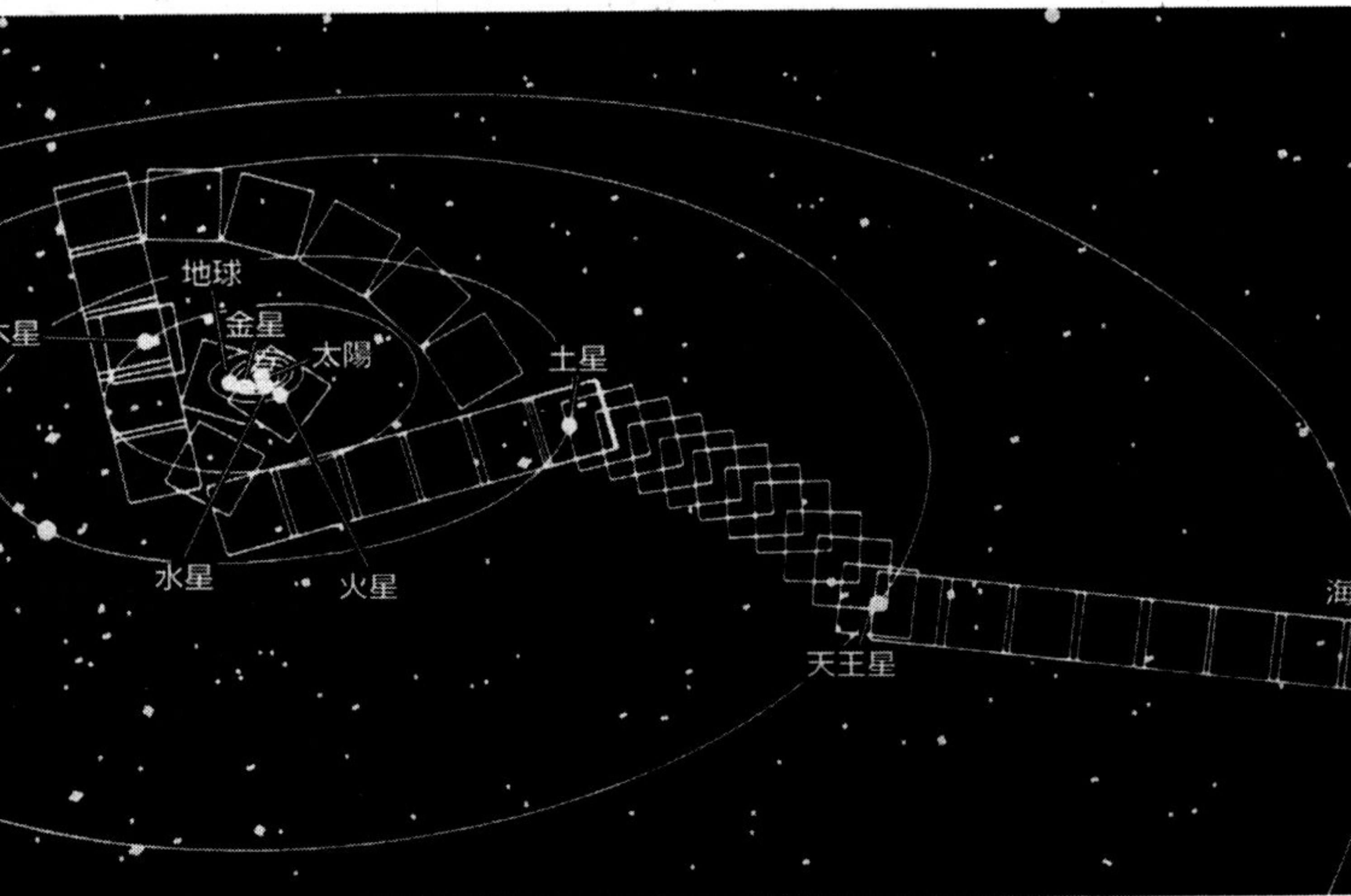
天文学者のだれもが説くように、われわれには果てがないと思える地球の広がりも、
巨大な宇宙に比べれば点のようなものにすぎない。
古代ローマ最後の大歴史家アンミアヌス・マルケリヌス（三三〇〜三九五年ころ）『年代記』から

故郷を遠く離れた探査機は、太陽系のいちばん外側の惑星の軌道よりもさらに外側、また黄道面という、各惑星が回っている競馬場のような仮想の平面からも、はるか上方にいた。そして、時速六万四〇〇〇キロメートルのスピードで、太陽から遠ざかりつつあった。一九九〇年二月初め、その探査機に地球から緊急の知らせが届いた。

探査機は命じられるまま、すでに遠くなった惑星たちへと、カメラを向けた。ある一点からまた別の点へと向きを変えながら、探査機は六〇枚の写真を撮り、テープレコーダーにデジタル信号のかたちで記録した。そして、そのデータを、三月、四月、五月とかけて、ゆっくりと地球へ送った。一枚一枚の写真は、新聞の電送写真や点描画の点と同じような、六四万個の画素から構成されている。五九億キロメートルものかなたから送られてくるため、一

個の画素が地球に届くまでには、電波が光速で進んでもなお五時間半もかかった。写真を回収するのに時間がかかったのは、太陽系の果てから送られてくる信号をとらえることのできる、大型の電波望遠鏡はカリフォルニア、スペイン、オーストラリアにしかなく、そこでは宇宙を旅する他の探査機からの信号をとらえる仕事も抱えていたからである。当時、探査機マゼランは金星をめざし、探査機ガリレオもまた、木星への複雑な行程の旅の途上にあったのである。

探査機ボイジャー1号は、土星の巨大な衛星であるタイタンのごく近くを一九八一年に通り過ぎた後、黄道面から離れ、はるか高い位置にあった。姉妹機ボイジャー2号は黄道面内を旅する別の軌道に送り出され、天王星、海王星の探査を見事にやり遂げた。ロボット探査機である二機のボイジャーは結局、四つの惑星と六〇近い衛星に接近した。これは間違いなく、人類の技術の勝利、アメリカの宇宙開発計画の大成果の一つである。たとえ私たちの時代に生起した多くの事件が忘れ去られても、歴史の教科書に記録されることだろう。

ボイジャーがきちんと働くことが保証されていたのは、土星との接近までだった。私は、ボイジャーが土星を通過した直後に、最後に一度、地球のほうを振り返ってみるのも悪くないと考えた。もちろん、土星からだと地球は小さすぎて、細部まで分かる写真など撮れないに決まっている。おそらく地球は、ちっぽけな光の点でしかないだろう。ボイジャーがとらえる近くの惑星やはるかかなたにある星々の光の点にまぎれて、ほとんど見分けがつかない

ボイジャー１号が振り返って撮影した太陽系の惑星の位置。太陽と、水星から火星まで４個の内惑星は、ぴったりと寄り集まっている。その外側に木星、土星、天王星、海王星の外惑星４個の軌道がある。四角い枠は、ボイジャー１号が撮った各写真の範囲を示す。このような写真は、ボイジャー１号が、惑星たちが太陽を回っている黄道面よりも高いところにいたので撮影できた。地球は１個の画素としてしか見えないが、木星と大きな輪を持つ土星はそれよりずっと大きい。(JPL/NASA提供)

ほどの光の点、孤独な画素にすぎないだろう。しかし、私たちの世界がそんなふうにぼんやりとしか見えないからこそ、そうした写真を撮る価値がある。私はそう考えたのである。

一九六〇年代から七〇年代にかけて一〇回打ち上げられた火星探査機マリナーの各号は、丹念に火星の大陸の海岸線をたどって撮影した。地理学者はそのデータをもとに、火星の地図や「火球儀」をつくった。地球のごく小さな部分の写真はまず、気球や飛行機から撮影され、ついで、短時間ながら弾道飛行をしたロケットから、そして最後に、軌道を回る人工衛星によって、大きな球の上二センチあまりのところに目を置いて見たときのように細部まではっきりとした全体像が得られたのだった。地球は球であり、私たちはその上に重力によってどうにかくっついているのだ、と頭では理解していても、それを実感としても納得できるようになったのは、アポロ宇宙船が撮ったあの有名な写真以来のことだ。アポロ17号の宇宙飛行士が、人類最後の月への旅で撮った、画面いっぱいの地球の全景写真である。

その写真は、私たちの時代の象徴のようなものだ。米国人やヨーロッパ人が、いとも簡単に地球の底と呼びならわす南極があり、その上には、アフリカ大陸が広がっている。そこには最初の人類が住んだエチオピア、タンザニア、ケニアがある。頂上に近い右上には、サウジアラビアと、ヨーロッパ人が中近東と呼ぶ地域がある。同じく頂上付近に、わずかに地中海がのぞいている。人類の歴史にかかわる文明の多くは、その周りで発達してきた。海の青、サハラやアラビアの砂漠の黄赤色、森林や草原の茶色がかった緑も見える。

しかし、そこに人の気配はない。人工的につくられた地表も、私たちの発明した機械も、そして私たち自身も、見ることはできない。私たちはあまりに小さく、また私たちが設けた国境はあまりにあいまいで、地球と月のあいだにいる宇宙船から見ることなどできない。こうしてみると、私たちが執着するナショナリズムといったものに、何の根拠もないことが分かる。アポロが撮った丸い地球の写真は、天文学者ならよく知っていることを、私たちに雄弁に伝えてくれる。それは、もののスケールということである。星や銀河はいうに及ばず、人間はまったく取るに足りない存在であり、暗くて孤独な岩と金属の塊、つまり地球を覆う薄い生命の膜でしかない、ということである。

だから、これよりさらに一〇万倍も遠いところから撮った地球の写真が、私たちの置かれた状況をさらに理解するうえで、役立つのではないかと、私は思った。昔から科学者や哲学者は、地球が、私たちを取り巻く巨大な宇宙のなかの一点でしかないということをよく知っていた。しかし、そうであることを実際に目で見た者はいなかった。この時が、それを見る私たちにとって最初の機会、そしておそらくは、この数十年では最後の機会であった。

NASA（米国航空宇宙局）のボイジャー計画に携わった人々の多くはこの考えを支持してくれた。しかし、太陽系のそんなかなたから見れば、太陽のごく近くにある地球は、いってみれば、炎に引かれて集まるガのような存在である。ボイジャーの画像処理システムが焼き付いてしまう危険を冒してまで、私たちは太陽の近くにカメラを向けるべきか。天王星と

海王星の観測を終えるまで待ったほうがよいのではないか。もちろん、ボイジャーがそれまで故障しない前提での話であるが。
結局、私たちは待つことにした。土星に接近した一九八一年から、天王星に接近した八六年、そして、二つの探査機が海王星と冥王星の軌道を通過した八九年まで。その後、機器類のちょっとした調整の必要があり、私たちはさらに待った。そして、ついにその時が来た。探査機は格好の場所にいた。機器類はまだ十分機能していたし、もうそれ以上撮るべき写真もなかった。にもかかわらず、反対の声があがった。そんなことは科学ではない、というのである。だが、そのとき、NASAの予算不足のために、信号をボイジャーに送る仕事をしている技術者たちが解雇されるか、ほかの仕事に配転される日が間近に迫っていることが分かった。もし、写真を撮るなら、この時をおいてなかった。ボイジャー2号が海王星に接近している最中、つまり、文字どおり最後の瞬間に、当時のNASA長官、海軍少将リチャード・トゥルリーが割って入り、その写真を撮ってよいと請け合ってくれた。NASA/JPL（ジェット推進研究所）の宇宙科学者キャンディ・ハンセンとアリゾナ大学のキャロライン・ポーコが、ボイジャーに与える指令の内容と、カメラの露出時間とを計算した。
こうして写されたのが、モザイク状の点で表わされた惑星と、背後にある遠くの星々である。私たちは、地球だけでなく、太陽系の九つの惑星のうちほかの五つの写真も撮ることができた。一番内側にある水星は、太陽の輝きのなかに隠れてしまい、火星と冥王星は小さす

ぎ、暗すぎ、そして遠すぎた。天王星と海王星は薄暗く、その存在を記録するには長い露出時間が必要だった。二つの惑星の写真がとくにぼやけているのは、探査機がそのあいだに動いたためだ。いずれにせよ、これが、長い星間飛行の果てに太陽系にたどりつくエイリアンの宇宙船から見える惑星たちの姿なのである。

たとえボイジャーの高解像度の望遠カメラによっても、これだけの距離から見ると、惑星は、ぼやけていようといまいと、光の点でしかない。それは、この地球上から肉眼で見た惑星が、ほかの多くの星よりずっと明るいものの、点にしか見えないのと同じである。何カ月もかければ、地球がほかの惑星と同じように星々のあいだを動いているのが分かったことだろう。しかし、単にこうした点を見るだけでは、それがどんなふうで、そこには何があり、これまでどんな過去があり、さらには、ある時期に何者かがそこに住んでいたかどうか、などといったことは、まったく分からない。

太陽光線が探査機で反射したために、地球は、光の帯のなかにあるように見える。あたかも、この小さな天体に特別な意味があるかのように。しかし、これは単に、幾何学的、光学的な偶然にすぎない。太陽はその光を、あらゆる方向に公平に放っている。もし、この写真がもう少し早く、あるいはもう少し遅く撮られていたら、地球を照らす光の帯はなかったに違いない。

では、かすかな空色をしているのは、なぜだろうか。青い色は、一部は海から、また一部

は空から来ている。コップのなかの水は透明に見えるが、実は、赤い光をほんのわずかだけ青い光よりよけいに吸収している。もし一〇メートル以上もの深さになったら、赤い光は吸収されてしまって、宇宙空間に反射される光は主に青だけになってしまうはずである。同様に、空気の層も薄ければ、完全に透明に見える。それでも、あのレオナルド・ダ・ヴィンチが描いたように、見る者との距離が遠くなればなるほど、物体は青く見えるようになる。なぜなら、空気は、赤よりも青い光をよけいに散乱させるからである。つまり、この点の青っぽい色は、厚いがもともとは透明な大気と、水でできた深い海とによっている。では、白は？　地球は平均的にいって、半分は白い水の雲で覆われているからである。

このように、この小さな天体が青っぽい色をしている理由を私たちが説明できるのは、この天体をよく知っているためである。太陽系の外縁にたどりついたばかりのエイリアンの科学者が果たして、海と雲とそして厚い大気の存在を自信をもって推測できるかどうか……それはまず不可能といっていいだろう。たとえば、海王星も青く見えるが、これにはまた別の理由がある。はるかかなたから見て、地球はとくに興味を惹かないかもしれない。

しかし、私たちにとっては違う。もう一度、あの点を見てほしい。そこに現にあり、私たちのふるさとであり、私たちそのものであるあの点を。あなたの愛する人も、あなたの知っている人も、あなたが伝え聞いたことのある人も、そして、かつてそこにいたすべての人も、みな、そこで人生を送ったのである。私たち人類の歴史に刻まれたすべての喜びと苦しみ、

幾千もの確信に満ちた宗教やイデオロギーや経済理論、狩猟者と略奪者、英雄と憶病者、文明の創造者と破壊者、王と小作人、恋人たち、父と母、希望に満ちた子どもたち、発明家と冒険家、倫理の教師たち、腐敗した政治家、「スーパースター」に「偉大なる指導者」、聖人と罪人、これらのいずれもが、太陽の光のなかの、ちっぽけな点のなかに存在したのである。

地球は、広大な宇宙にあって、ごくごく小さな場所でしかない。考えてみてほしい。あまたの将軍や皇帝たちが、勝利と栄光を求めて、このちっぽけな点のそのまた一部でほんの束の間の支配者となるために流された血の川を。また、この点の一角の居住者が、そことほとんど見分けのつかない別の一角の居住者のところに攻め入っては振るった、際限のない残虐行為を。そして、いかに頻繁に誤解が繰り返され、互いを殺し合おうとし、激しく憎悪を燃やしたかを。

私たちの心構え、私たち自身が重要であるという思い込み、そして、宇宙のなかで私たちは特別な存在であるという錯覚は、この暗い光の点によって、見直しを迫られている。私たちの惑星は、果てしない宇宙の闇のなかの、孤独な点でしかない。その存在のかすかさと、宇宙の広大さを考えれば、私たちを私たち自身から救ってくれるものが、どこか別のところから来るなどとは、望みようもない。

地球は、これまで知り得るかぎり、生命を育む唯一の天体である。少なくとも近い将来に、私たち人類が移住できるようなところはどこにもない。もちろん、ほかの天体を訪ねてはみ

た。しかし、まだ、そこに住みついたわけではない。好むと好まざるとにかかわらず、地球こそが、ここしばらくのあいだ、人類の拠って立つ場所なのである。

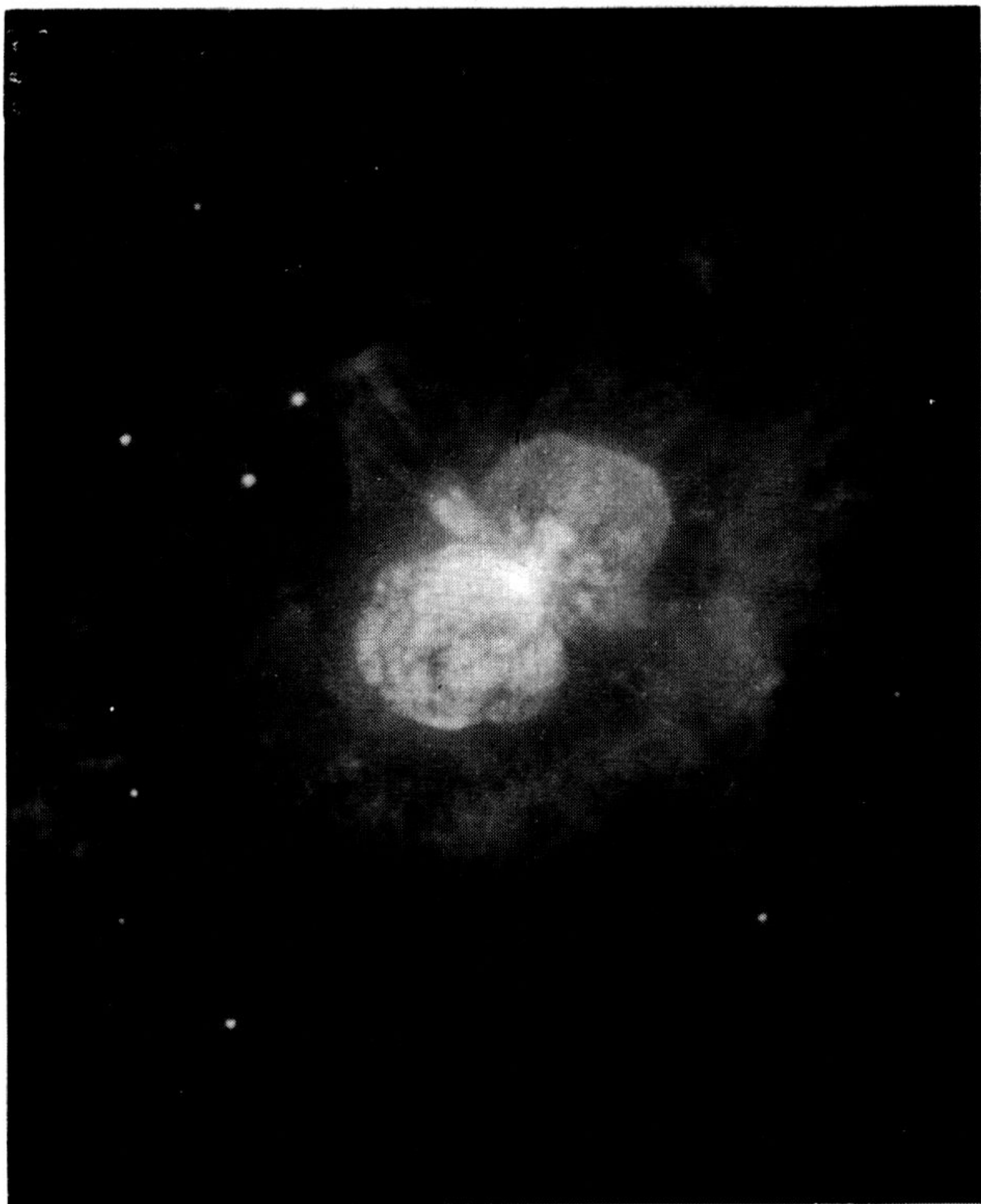
天文学は、人に謙虚さを教え、人格を育てる学問であるといわれてきた。私たちのちっぽけな天体をはるかかなたから撮ったこの写真ほど、人間の独善のおろかさを教えてくれるものは、おそらくほかにはないだろう。お互いをもっと大切に扱うこと、そして、私たちが知っている唯一のふるさとであるこの「暗い青い点」を守り育んでいくこと、それは私たちの責任であることを、この写真が強く訴えているように、私には思える。

2

地球は動く

もし人間がこの世にいなかったなら、その他のものは当てもなく漫然と道を誤り
……やがて無に帰するであろう。
フランシス・ベーコン『古代人の英知』（一六〇九年）から

私の妻アン・ドルーヤンはこう提案する。前の章で示した「暗い青い点」をもう一度見直してみては、と。そう、それを遠くから見てほしい。その点をじっと見つめたあとでもなお、そこに住んでいる一〇〇〇万種もの生物のうちのたった一種類のために神が宇宙全体を創造したのだと、自分を納得させられるだろうか。さらに一歩進めて、わずか一つの種、あるいは一つの性、一つの民族、一つの宗教のためだけに、すべてのものが創造されたのだと、想像できるだろうか。もし、こうしたことがあり得ないことではないと思うのなら、別の点を見てほしい。その点に、私たちとは違う知的生物が住んでいて、彼らもまた、彼らのためだけに神がすべてのものを創造したのだと信じているとしたら？　あなたは彼らの主張を、どれだけ真剣に受けとめるだろうか。

「あの星をごらん」
父親がこういうと、娘は聞き返す。
「あの明るい赤い星のこと？」
「そう、あの星は、もうそこにはないかもしれないんだよ。爆発するか何かでね。星の光は遠く宇宙を越えてきて、ちょうどいま、私たちの目に届いたんだ。でも、私たちが見ているのは、その星のいまの姿ではなくて、過去の姿なんだよ」
この単純な事実にはじめて出合ったときの驚きを、多くの人が経験したことがあるに違いない。なぜ？　なぜ、そうなの？　私たちの住む地球上では、光は一瞬のうちに伝わる。輝いている電球は、もちろん、それが見える場所に物理的に存在して、光っているのである。手を伸ばせば、さわることもできる。そう、それは間違いなくそこにあって、ひどく熱いだろう。フィラメントが切れれば、光も消える。電球が壊れ、ソケットからはずされたあと、何年も、その電球が同じ場所で光って部屋を明るくしている、なんてことは、考えるだけでもばかばかしい。しかし、はるか遠くに隔たっているものの場合なら、たとえば太陽がすっかり消えてなくなってしまってもなお、明るく光っているのが私たちには見える、ということもあり得る。速いとはいっても無限に速いわけではない光が広大な宇宙をわたってくるまでのあいだ、太陽の死を、私たちは何世代も先まで知らないでいるのである。

ハッブル宇宙望遠鏡が捕らえた、地球に文明が登場する以前のりゅうこつ座イータのクローズアップ。二つの巨大なガス雲が放出され、左側の雲がほぼ私たちのほうに向かって動く一方、右上の雲は反対方向に動いている。このように荒々しい宇宙の光景を目の当たりにできるのは、現代天文学の恩恵である。（アリゾナ州立大学のＪ・ヘスター、NASA提供）

恒星や銀河から私たちのいるところまでのはるかな距離を考えれば、私たちが宇宙で見ているものは、みな過去の姿である。なかには、地球が誕生する前のものもあるだろう。望遠鏡は、つまりはタイムマシンなのである。遠い昔、生まれたばかりの銀河が周囲の闇のなかに光を放ち始めたころ、それから何十億年もたったあと、あるところに岩石や金属の塊や氷、有機分子が寄り集まって地球と呼ばれる天体ができることなど、だれが知ることができたろう。ましてや、そこで生命が誕生し、考える生物に進化して、ある日、その銀河の光をわずかに捕らえて、その光はいったいどこからきたのかと考えをめぐらすなどとは、だれが想像できただろうか。

そして、おそらくいまから五〇億年ほどたって地球が死を迎えたあと、つまり、地球がカリカリに焼けるか太陽に飲み込まれてしまったあと、誕生するであろう新しい惑星や恒星や銀河のだれが、かつて地球と呼ばれた場所があったことを知るだろう。

何によらず自分たちが属する集団は、その生まれ合わせからいって、社会の中心的地位を占めてしかるべきだという考え方は、偏見どころか、かえって当然至極と見なされてきた。たとえば、古代エジプトのファラオの幼君や英国中世のプランタジネット朝の僭王たち、悪徳資本家の子弟や旧ソ連中央委員会の官僚たち、追いはぎや国家の征服者、自信満々の多数派、目立たない分派、非難される少数派の、おのおのの構成員……。このような人々のあい

だで、あたかも呼吸をするのと同じようにあたりまえに受け入れられているこのような利己的な考えは、性差別、人種差別、ナショナリズム、そして、その他の人類をむしばむ有害な差別と、一脈通じるものがある。私たちには、神与の、他者に対する優位性がある。こうした甘言をきっぱり拒絶するには、なみなみならぬ意志の強さが必要である。そして、自尊心が強ければ強いほど、そうしたささやきに対しては弱いものだ。

科学者も人間だから、この種の優越感が科学的世界観のなかに入り込んでいたからといって、驚くには当たらない。科学史上の重要な論争の多くは、人間は特別な存在であるかどうかに、多少の関心を割いてきた。しかし、たいていの場合、「特別であること」は前提である。しかしながら、前提条件を綿密に吟味してみると、多くの場合、残念ながら前提そのものが間違っていることが判明してしまうのである。

野外で暮らしていた私たちの祖先は、私たちがテレビ番組に慣れ親しんでいるのと同じように、星空に慣れ親しんでいた。太陽や月、恒星、そして惑星はすべて、東から出て空を横切り、西に沈んだ。こうした天体の動きは、彼らにとっては、ありがたがったり不平をいったりするための、暇つぶしどころではなく、時刻と季節を知る唯一の手段だった。採集狩猟者、あるいは農民にとって、天を知ることは死活問題だったのである。

太陽、月、惑星、そして恒星が、綿密に調整された宇宙時計を構成していてくれるなんて、私たちは何と幸運なのだろう。偶然のこととはとうてい思えない。天体は、まさに私たちに

時を知らせる目的で配置されたのに違いない。私たちのほかに利用する者はなく、ほかに何の役にも立たないのだから。

このように、星々は私たちの周りを昇ったり沈んだりしているのだから、私たちが宇宙の中心にいるのは疑う余地がない。そして、明らかに地球のものではない力、とりわけ私たちに光と熱を与えてくれる太陽の影響を受けて、こうした天体は、まるで廷臣が王の周りにはべるように、地球の周りを回っている。たとえ、まだそこまで筋道立った推論はなされていなかったにしても、天の動きをちょっと調べただけで十分ではないか。宇宙は、人間のために設計されたように見えるのだから。こうした状況を、誇りや自信といった感情抜きに考えることは難しい。宇宙全体は、私たちのためにつくられたのだ！　私たちはまさに、特別な存在に違いないのである。

私たちが重要な存在なのだという、この心地よい主張は、日々の天体観測でも確かめられ、天動説という独断的な世界観を普遍的な真実にまで仕立てあげてしまった。そして、それは、学校で教えられ、言語や偉大な文学作品、聖典のなかにも取り入れられていった。異議を唱える者は迫害され、ときには拷問の果てに命を落とした。人類の歴史のほとんどの期間を通じて、だれもそれを疑わなかったのである。

これが、採集狩猟民だった私たちの祖先の世界観であることは間違いない。古代の偉大な天文学者、クラウディウス・プトレマイオスはすでに二世紀に、地球は球であり、その大き

さは星と星の間の距離に比べれば「点」でしかないことを知っており、地球は「天のちょうど中心」に位置すると教えていた。アリストテレス、プラトン、聖アウグスティヌス、聖トマス・アクィナスを始めとする東西の偉大な哲学者や科学者のほとんどは、一七世紀に至るまでの三〇〇〇年ものあいだ、こうした妄想に与してきた。ある者は、太陽や月、恒星や惑星がいかに巧妙に、それぞれ地球を中心とする透明で巨大な水晶の球にくっついているかを示すのに余念がなかった。それによって、天文学者が代々、丹念に記録しつづけてきた天体の複雑な動きを説明しようとしたのである。実際、彼らは成功した。のちに修正を加えられたものの、天動説は、二世紀の惑星の動きも一六世紀の惑星の動きも、どちらもうまく説明することができたのである。

ここまでくれば、さらに壮大な主張、つまり、プラトンが『ティマイオス』で述べたように、この世界の「完全性」は人間の存在なくしては考えられない、という思想までは、それほどの飛躍を必要としない。「人間が……すべてである」、詩人にして聖職者のジョン・ダンは一六二五年にこう書いた。「彼は世界の一部ではない。世界そのものなのである。神の栄光に次いで、なぜ世界があるかの理由でもある」

しかしながら、どれだけ多くの王や法王、哲学者、科学者、そして詩人が、このように主張しようと、地球はこの何千年もの間、太陽の周りを回りつづけてきた。もし、こうした時代の私たち人類を地球の外にいる冷静な観察者が見ていたとしたら、興奮して「私たちのた

めにつくられた宇宙！　私たちは中心なのだ！　すべてのものは私たちに敬意を表わしている！」などとしゃべりちらしている私たちを軽蔑し、私たちの思い上がりを笑い、私たちの願いを哀れんで、こう結論づけるだろう。「これは、愚者の惑星に違いない」と。

しかし、そう決めつけるのは酷に過ぎる。私たちにしても、最善を尽くしたのだから。日常的に経験することと、私たちのひそかな願望とのあいだに、不幸な偶然の一致があったのである。私たちの偏見に合致するような証拠を示されたとき、それを批判しにくいのは当然だ。そして、それに反対する証拠はほとんどなかったのである。

天動説に対する反対論がほとんど姿を消してしまったなかで、それでも、謙譲の心と大局的見方を説き、異論を唱える声は、何世紀にもわたって、わずかだが存在した。科学の夜明けの時代、物質は原子からできているとはじめて示唆した古代ギリシャやローマの原子論者たち、すなわちデモクリトス、エピキュロスとその弟子たち、そして最初の科学啓蒙家であるルクレティウスらは、地球のほかにも天体や未知の生命体がたくさんあって、それらもまた、私たちをかたちづくっているのと同じ原子からできていると、大胆にもいってのけた。彼らによって、時間、空間の無限性について考えるきっかけが与えられたとはいえ、聖職者であれ俗人であれ、また異教徒であれキリスト教徒であれ、西欧を支配していた規範からすれば、原子論的な概念は非難の対象でしかなかった。というより、天は、私たちの世界に似たものであっては決してならなかったのである。天は不変で、かつ「完全」だった。地球は

変わりやすく、「堕落」した世界だった。こうした一般的な見方を、ローマの政治家で哲学者でもあるキケロはこう要約している。「天においては、まったく偶然というようなことはないし、過誤や失敗もない。あるのは、絶対的な秩序、誤りのないこと、数学的正確さ、そして調和である」

哲学や宗教は、神々（あるいは単一の神）は私たちよりはるかに強力で、自分たちの特権を守るために用心怠りなく、傲慢が限度を超すとただちに正義を行使すると、注意を喚起していた。同時に、これらの教義は、いかに宇宙が秩序づけられているかについて自分たちが教えている内容が、独断や妄想でしかないことには、まったく気づいていなかった。

哲学と宗教は、単なる見解にすぎないもの、それも観測と実験によって覆されるかもしれない見解を、確かなものとして提示していたにすぎなかった。しかし、彼らは、まったく気にしていなかった。彼らが堅く信じていることが誤りであるかもしれないなどとは、考えもしなかった。教義でいう謙遜など、他者が実践すればよいことだった。彼ら自身の教えは、絶対確実なものだった。しかし、実のところ、彼ら自身、自分で意識しているよりはるかに、謙虚であるべきであったのだ。

一六世紀半ばにコペルニクスが現われて、ついに論争がおおやけになった。地球ではなく太陽が宇宙の中心にあるという思想は、危険なものとして受けとめられた。多くの学者たち

は早速、こんな新しがりの仮説など、これまでの学問にとって何の脅威にもならないと、教会に対して保証してみせた。そして、いわば脳を二つに分けるような妥協が図られた。太陽中心のシステムは、天文学的な事実ではなく、計算のための便宜上のものとして扱おうというのである。つまり、だれもが知っているように、現実に宇宙の中心にあるのは地球であるが、木星が再来年の一一月の第二火曜日にどこにあるかを知りたい場合は、あたかも太陽が中心にあるとして扱ってもよい、というのである。そうすれば、計算もできるし、教会の権威を傷つけることもない(*1)。

「これには危険はない」。一七世紀初頭のバチカンの代表的神学者、ロベルト・ベラルミーノ枢機卿はつぎのように書いた。

これは数学者を満足させる。しかし、太陽が天の中心に固定されていて、地球はその周りをたいへんな速度で回っているのだと認めることは、神学者や哲学者を苛立たせるばかりでなく、私たちの信仰心を損ない、聖書をも誤りだとしてしまう危険をはらんでいる。

「信仰の自由は有害だ。それはまさに誤ることの自由にほかならない」と、ベラルミーノは別のところで書いている。

さらに、もし、地球が太陽の周りを回っているのだとすれば、私たちの視点が地球の軌道

の一方からもう一方に半年ごとに移るのに対応して、近くの星もまた、背景となる遠くの星々に対して動いて見えるはずだった。しかし、こうした「年周視差」は当時まだ、発見されていなかった。地動説論者は、これは星が、太陽と地球との距離に比べてはるかに遠く、おそらくは一〇〇万倍もの距離にあるためで、もし将来、もっと高性能の望遠鏡ができれば、年周視差も見つかるはずだと主張した。地球中心主義者にしてみれば、これは、誤った仮説を救おうとする絶望的な試みであり、明らかにばかげた行為だと思われた。

しかし、ガリレオが最初の天体望遠鏡を空に向けたとき、流れは変わり始めた。彼は、木星が、その周囲を回る小さな月を従えていることを発見した。しかも、内側の月ほど外側の月より速く回っており、それはまさに、コペルニクスが太陽に対する惑星の動きとして予言したとおりだった。彼は、水星と金星が月のように満ち欠けすることも発見した。これは、それらが太陽の周りを回っていることを示していた。さらにまた、クレーターだらけの月面や、太陽の黒点の存在が、天の完全性に疑問を投げかけた。これは、それより約一三〇〇年前に、カルタゴの神学者テルトゥリアヌスを悩ませていたことと、一部つながって見えるかもしれない。彼はこう述べている。「もしあなたに良識あるいは慎みの念が多少でもあるなら、天のこと、運命や宇宙の神秘をあれこれ詮索するのはもうおやめなさい」

しかし、ガリレオはそれとはまったく逆に、私たちは観察と実験によって自然に問いかけることができるのだと説いた。そうすることで、「説明はまだ十分とはいえないが、それで

も、ちょっと見ただけではありそうもない事実が、隠れ蓑を脱ぎ捨てて、赤裸々な、混じりっ気のない美しい姿でたち現われる」と書いている。懐疑的な人たちにすら明らかであるような事実こそが、神学者たちのどんな考察よりも、神の創り給いし宇宙への洞察たり得るのではないだろうか。しかし、もしこうした事実が、絶対に間違いの許されない宗教を信じる人たちの信念と矛盾することになったら、どうなるのだろうか。教会の指導者たちは、老天文学者ガリレオが、地球が動いているなどという汚らわしい考えをあくまで放棄しないなら、拷問にかけるといって脅した。結局彼は終生、一種の自宅幽閉の刑に処せられることになった。

それから一、二世代後、アイザック・ニュートンが、太陽系の中心に太陽があると認めさえすれば、月や惑星の動きは、単純にして優雅な物理学によって定量的に説明され、かつ予言できると主張したころには、天動説は、さらに弱まっていた。

一七二五年、星の視差を発見しようとしていた英国の忍耐強いアマチュア天文学者、ジェームズ・ブラッドリーは、偶然、光行差を発見した。一年を通して恒星の動きを追うと、やや楕円の軌道をたどることが分かったのである。しかも、すべての恒星で同じだった。これは、恒星の視差ではあり得ない。もしそうなら、近くにある恒星ほど大きく、遠くなるに従って小さくなるはずだからである。これに対して、光行差は、高速で走る車に乗った人から見ると、真っすぐに落ちてくる雨粒が、斜めに落ちてくるように見えるのに似ている。車が

速いほど、傾きは大きくなる。もし、地球が宇宙の中心で静止していて、太陽の周りの軌道を回っていないのであれば、ブラッドリーが、光行差を発見できるはずはなかった。これは、地球が太陽の周りを回っていることの、動かしがたい証拠だった。ブラッドリーが考えたように、これによって、少数の反コペルニクス主義者を除くほとんどの天文学者は納得した。

地球が本当に太陽の周りを回っていることが、恒星の直接観測によって、反論の余地なく証明されるには、一八三七年まで待たなければならなかった。長く論議の的だった年周視差が、ついに発見されたのである。議論によってではなく、より優れた観測器によって。それが何を意味しているかを説明するほうが、光行差を説明するよりはるかに直接的だったから、この発見は、きわめて重要だった。それは、天動説の柩（ひつぎ）に、最後の釘を打ち込んだ。まず、自分の指を左の目で見て、つぎに右の目で見てみるといい。指が動いたように見えるはずだ。こうすれば、だれでも、視差の何たるかを理解することができる。

一九世紀までには、科学の分野における天動説論者は、転向するか、あるいは消えていった。ほとんどの科学者が地動説を支持するようになれば、世論もその影響を受けて変化する。ほんの三、四世代で様変わりしてしまった国すらある。もちろん、ガリレオやニュートンの時代、いやそれよりもっとのちになっても、太陽中心の新しい宇宙観に反対し、その考えが受け入れられたり、広く知られたりすること自体を妨げようとする人たちもいた。そして、心のなかでひそかにそれを望んでいる人は、もっと大勢いたはずである。

二〇世紀後半になると、地動説を信じない人に対して、それが間違った世界観であることを、直接証拠によってはっきり示すことができるようになった。私たちが住んでいるのは、惑星が透明な水晶の球に固定された地球中心のシステムなのか、あるいは、惑星がそれぞれ太陽の引力によって支配される太陽中心のシステムなのか、観測によって確かめることができるようになったのである。たとえば、惑星をレーダーで調べるとしよう。土星の衛星に信号を反射させたが、それより近くにあるはずの木星がくっついているはずの水晶球の面からの反射はなかった。私たちが送った探査機は、ニュートンの重力の法則によって計算されたとおり、驚くべき正確さで目的地に到着したのである。私たちの探査機が火星まで飛んでいったときも、水晶の球にぶつかった音は聞こえなかったし、壊れた球の破片も検知されなかった。何千年も支配的だった考え方によれば、金星にしろ太陽にしろ、それが固定されている水晶球が、地球を中心とした規則正しい動きを生み出しているはずだったのである。

ボイジャー1号は、一番外側の惑星よりさらに外から太陽系を眺め、太陽が真ん中にあり、惑星は太陽を中心とする同心円の軌道を回っているのを確認した。コペルニクスやガリレオがかつて予測したとおり、地球は宇宙の中心にあるどころか、軌道を回る点の一つにすぎなかった。私たちはもう、たった一つの天体にだけ閉じこめられてはいない。ほかの天体に手を伸ばし、私たちが住む惑星系の姿をしっかりと見極めることができるようになったのである。

私たちを宇宙の中心から追放しようとする説は、地動説以外にも数多くあったが、やはり似たような理由から、そう簡単には受け入れられなかった。私たちは何としても、自分の成したことによってではなく、その生まれによって与えられる特権、つまり、私たちはこの地球に生まれた人類なのだという、たったそれだけの簡単な事実によって与えられる特権を手放したくないらしい。このような立場を、人間中心主義と名づけてもよいかもしれない。

人間中心主義のいわば頂点は、私たちは神の姿に似せて創造されたという思い込みによって表現される。つまり、宇宙の創造者にして統治者は、ちょうど自分と同じような姿をしているというのだ。おお、何という偶然！　何という都合のよさ、そして何という素晴らしさ。紀元前六世紀のギリシャの哲学者クセノファネスは、こうした考え方の傲慢さをよく理解していた。

エチオピア人は彼らの神を獅子鼻の黒人として描き、トラキア人は彼らの神は青い目と赤い髪をしているという……だから、もし牛や馬やライオンに手があって、人間同様に絵を描くことができたら、馬は馬の姿をした神を描くだろうし、牛は牛のような姿の神を描くだろう……

「偏狭」とでも呼ぶのがふさわしいだろうか。一地方のものにすぎない政治的な階層構造や社会的慣習が、さまざまな伝統や文化が集まってできている巨大な世界全体にまで広がっていると無邪気に決めつけてしまうのである。身近な地域、つまり私たちの住まっている、もしかするととんでもない僻地かもしれないところこそが、世界の中心だというのである。無骨な田舎者は、外の世界にどんな可能性があるのか、ほとんど何も知らない。彼らの生活圏がいかに取るに足りないものであるか、また、世界がいかに多様性に満ちているか、まったく分かっていない。彼ら自身の基準と慣習を、世界の残りの地域にいとも簡単に適用してしまう。しかし、ウィーンに行ってみて、もちろんハンブルクやニューヨークでもいいが、そういうところに行ってはじめて、自分たちの視野がいかに狭かったかを、悲しくも悟るのである。こうしてやっと、彼らは田舎者的偏狭から抜け出すのである。

近代科学は、立ち止まるたびに謙遜ということを教えられてきた、未知への旅だったといえる。こんなことなら家にとどまっていたほうがよかった、多くの乗客がそう思ったに違いない。

（＊1）コペルニクスの著作『天体の回転について』ははじめ、神学者アンドレアス・オシアンダーの序文とともに出版された。死に瀕していたコペルニクスには無断で、挿入されたのである。オシアンダー

は、宗教とコペルニクスの天文学とを何とか調和させようと試みたが、結局、最後にこういっている。「誰も仮説に関しては天文学に確かなものを期待しないように願う。それは確かなものを与えることはできないのである。ほかの目的のために工夫されたものをすべて真実と思う人は、この学問に入らずに、おろかにもこれから離れて行くであろう」（矢島祐利訳）。確かなものは宗教のなかでのみ見つかるというのである。

3 大降格

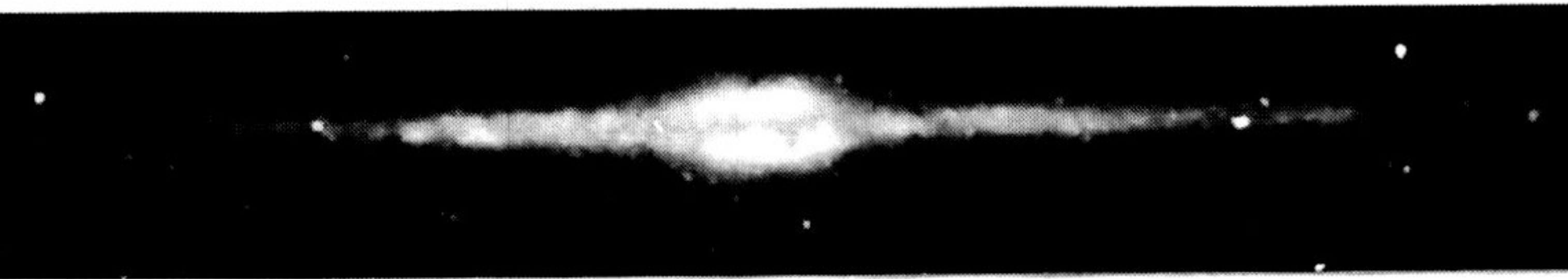
彼は自分が一切の秘密を知っている、と述べた。
……それから今度は天界の住人二人を上から下までじろじろ眺めた挙句、
この二人の人格、彼らの世界、彼らの太陽に彼らの星といったものすべてが、
ただひたすら人間のために作られたのだと、当の二人に向かって主張したのである。
この演説を聞いてわが星間旅行者二人は、
ホメーロスの表現に従うなら神々の属性ともいうべきかの抑え難い哄笑のため、
息を詰らせながら、互いに折り重なっては笑い転げた。

ヴォルテール『ミクロメガス』(一七五二年)から。川口顕弘訳

一七世紀にはまだ希望が残っていた。地球は宇宙の中心ではないまでも、唯一の「世界」ではあるはずだ、と。しかし、ガリレオの望遠鏡は「滑らかでも平らでもない月面」を見せて、地球以外の天体も「地球とよく似た顔」をしていることを明らかにした。月やその他の惑星には、山やクレーター、大気、氷の極冠、雲があり、まぎれもなく地球と同等の世界がそこにあることを示していた。そのうえ土星には、前代未聞のめくるめくような美しい環さえ存在しているではないか。こうして、何千年にもわたる哲学上の論争は、「世界の複数性」の側に軍配が上がるかたちで決着した。ほかの世界は私たちの地球とは全然違うかもしれない。生命に適した場所はまったくないかもしれない。しかし、もはや、地球が唯一の「世界」でないことは明白である。

こうして私たちは、またしても「大降格」の憂き目をみる羽目になった。私たちはこれまでにも、特権的な地位からの没落を経験し、まったく取るに足りない存在であることを思い知らされてきた。そしてこれからも、同じような経験を積み重ねることになるのだ。科学は、ガリレオが明らかにした事実を検証することによって、人間の誇りを傷つけたのである。

それでも、期待は残った。**たとえ地球は宇宙の中心ではなくても、太陽は宇宙の中心だろう。その太陽は私たちの太陽である。とすれば、地球はほとんど宇宙の中心も同然ではないか**――。こう考えれば、人類の誇りにもいくらかの救いはある。ところが、一九世紀までに観測天文学が明らかにしたのは、太陽は、同じような無数の恒星の集合体である銀河系のなかの、孤独な一つの恒星にすぎないということであった。私たちの太陽は暗くちっぽけな惑星たちを従えて、渦を巻いている銀河系の腕の遠く辺鄙な場所に位置している。宇宙の中心どころか、そこは銀河系の中心から三万光年も離れているのである。

では、私たちの銀河系はどうなのだろうか。唯一の銀河ではないのだろうか――。これも違った。銀河系は何十億、いや、おそらく何千億個と存在する銀河の一つで、質量も、明るさも、星の分布や配置も、取り立てて特別なことのない、ありふれた銀河にすぎないのである。宇宙のかなたをとらえた最新の写真には、私たちの銀河系の恒星よりも多くの銀河が写っている。その一つひとつすべてが、何千億個もの恒星からなる「島宇宙」なのである。こ

地球の大気圏外から赤外線で見た天の川銀河。両側に延びている渦巻きの腕のなか、銀河面に近いところに、私たちの太陽がある。私たちから銀河中心までの距離は約３万光年。**COBE**（宇宙背景放射観測衛星）撮影。（NASA提供）

れでは、まるで謙譲についての深遠な説法を聞かされているようではないか。

それならば、せめて、私たちの銀河系は宇宙の中心にあるに違いない――。いや、これもだめだ。宇宙が膨張していることがはじめて発見されたとき、多くの人はごく自然に、銀河系が宇宙の膨張の中心で、ほかのすべての銀河が私たちから遠ざかっているという考えに惹かれたものである。しかし、いまでは私たちは、どこの銀河から観測しようとも、あらゆる銀河が自分たちから遠ざかっているように見えるであろうことも知っている。十分に注意深くないかぎり、全員が、自分たちの銀河こそが宇宙の中心だと結論しかねない。実際には、膨張宇宙に中心などはない。ビッグバンの始まりの点などは存在しないのである。少なくとも通常の三次元空間には。

では、何千億もの銀河があって、そのそれぞれが何千億もの恒星からできているとしても、惑星を持つ恒星はないのではないか――。私たちの太陽系以外に惑星系が存在しないなら、宇宙にほかの生命は存在しないだろう。私たちの唯一性は守られるはずである。惑星は小さく、恒星の光を反射してかすかに輝くだけなので、きわめて見つけにくい。技術の急速な進歩にもかかわらず、仮に私たちからもっとも近い恒星ケンタウルス座アルファ星の周りを木星くらいの巨大惑星が回っていたとしても、検出するのは難しい。まだ確かめることができないこの点に、地球中心論者たちは望みを託しているのである。

かつて、こんな仮説が流行したことがある。私たち太陽系の惑星は、大昔に太陽がほかの

恒星と衝突しそうになったときにできたという説である。そのとき、相互に働いた潮汐力によって太陽から太陽を構成している物質が巻きひげ状に引っ張り出され、それがたちまち凝縮して惑星になったというのである。もし、この説が正しいなら、宇宙空間はほとんど空っぽで、星の接近や遭遇などはめったに起こるものではないから、ほかに惑星系はまずないだろう。ひょっとすると一つだけ、そのとき、太陽に接近して私たちの太陽系が形成される原因をつくった恒星の周りに存在するかもしれないが。研究者になったばかりの私は、ほかの恒星に惑星系が存在する「証拠がない」ことが、ほかに惑星系が「存在しない証拠である」というような、そんな説がまじめに考えられていたことに驚き、失望したものであった。

今日、私たちは、B1257＋12と呼ばれるパルサーの周りを少なくとも三つの惑星が回っている確かな証拠を得ている。この超高密度星についてはあとで詳しくふれることにするが、太陽と同程度の質量を持つ恒星の半数以上が、初期には巨大なガスとちりの円盤に囲まれていて、惑星系はそこから形成されることも分かってきた。いまでは惑星系も、地球に似た天体さえも、宇宙ではありふれた存在だと考えられている。今後二、三十年のうちには、太陽に近い数百個の恒星について、もし、その周辺に大きな惑星があれば、存在を確かめられるようになるだろう。

私たちの空間的な位置に特別な役割を見いだすことには、無理があるようだ。それなら、私たちの時間的な位置はどうだろう。宇宙の始まりから（数日のずれはあるにしても）、私

たちは存在している。創造主は私たちに特別な役割を与えたはずではないか——。宇宙は私たち人類の祖先が時間を認識し、史実を記録するようになる、ほんの少しだけ前、およそ数百年か数千年前に始まったという考えは、非常にもっともらしく思える。宇宙の起源について記述している宗教は、それとなく、あるいははっきりと、その始まりの日、つまり世界が誕生した日を定めている。

たとえば、旧約聖書の「創世記」の系図の記述を足し合わせてみれば、地球の年齢はほぼ六〇〇〇年ということになる。宇宙は地球と同じ年齢であるとされ、いまでも、ユダヤ教、キリスト教、イスラム教の信者のなかでも保守的な、根本主義者あるいは原理主義者と呼ばれる人たちは、これを信じている。ユダヤ暦には明記されてもいる。

しかし、本当に宇宙がそれほど若いとすると、とんでもない問題が生じる。どうして六〇〇〇光年より遠くに天体があるのだろうか。光は一光年の距離を旅するのに一年、一万光年の距離なら一万年かかる。銀河系の中心からの光は三万年前にその源を発している。銀河系によく似た、もっとも近い渦巻き銀河であるアンドロメダ座のM31は、地球から二〇〇万光年の距離にある。ということは、私たちが見ているのは、その光が長い旅路についたとき、つまり二〇〇万年前の姿である。さらに五〇億光年先にあるクエーサーを観測するとき、私たちが目にしているのは、五〇億年前、地球が形成される前の姿なのである。それらはきっと、いまでは変わり果てた姿になっているに違いない。

それでもなお、経典の記述を正しいと言い張るためには、多くの観測事実をどう解釈すればよいのだろう。唯一のもっともらしい答えは、すべては神が、ごく最近そのように創ったのだとすることである。つまり、天文学者たちにあたかも銀河やクエーサーがそこにあると思わせ、宇宙は巨大で古いという見せかけの結論に導くよう、うまい具合にすべての光子（フォトン）を創ったとするのである。この説を、どれほど経典の記述を信頼していようとも、真に受ける人がいるとは、私にはとうてい考えられない。

一方では、宇宙がそのように古いことは神の言葉に反する、教義と矛盾した太古の世界に関する知識は受け入れられない、などと神学者は主張する。しかし他方では、岩石の放射性年代や、多くの天体に残された衝突クレーターの数、恒星の進化や宇宙膨張などが、私たちの宇宙が何十億年も前から存在しているという確かな証拠を提供している（＊1）。たしかに、ユダヤ教やキリスト教やイスラム教の経典を杓子定規に解釈する人たちが信じているように、宇宙はそれほど古くないのかもしれないし、これらの証拠もまた、私たちをだますために悪意に満ちた神が創り出したものかもしれない。しかし、篤い信仰心を持つ多くの人々は、聖書やコーランは歴史書、道徳の手引書、偉大な文学であり、そこに述べられている自然界に対する見解は、それらが書かれた時代の未発達な科学を反映していることをきちんと認識しているはずであるから、このようなことは問題にはならないだろう。

地球が誕生する前から時間は流れていた。地球が壊れるまでにはさらに長い時間が流れる

だろう。地球の年齢（約四五億年）と宇宙の年齢（ビッグバンから約一五〇億年）とは区別する必要がある。地球が生まれる前に、すでに、宇宙の始まりから今日までの膨大な時間の三分の二が経過していたのである。地球よりも何十億年も若い恒星や惑星系もあれば、何十億年も年老いたものもある。ところが、旧約聖書の第一章第一節には、宇宙と地球は同じ日に創られたと記されている。ヒンズー教や仏教、ジャイナ教では、この二つの出来事を混同してはいないようである。

人類はといえば、私たちは遅れて来た者である。私たちは宇宙時間の最後の一瞬に出現した。宇宙の歴史の九九・九九八パーセントは、私たちが舞台に登場する前に、すでに終わっていた。その膨大な時間の流れのなかで、私たちは、私たちの惑星にも生命にも、そのほかのいかなるできごとにも関与できなかった。私たちは存在しなかったのだから。

私たちの場所や時代に特別な意味が見いだせないとしても、私たちの運動には何か特別なことがあるかもしれない――。ニュートンをはじめとする偉大な古典物理学者たちは、空間における地球の速度は「特権的な座標系」を構成していると考えた。また、それは実際にもそう呼ばれた。しかし、生涯、偏見と特権に対する鋭い批判を続けたアルバート・アインシュタインは、この「絶対的な」物理学は、いまではほとんど見向きもされなくなっている地球中心主義の残骸にすぎないと見なした。彼は、観測者がどんな運動をしていようと、どんな座標系にいようと、自然の法則は同じであるはずだ、と考えた。そしてそれを出発点とし

て、特殊相対性理論をつくりあげた。非常な高速の場合だけに起こると限定してはあっても、彼が到達した結論は、奇怪で、直観に反しており、はなはだ非常識に映った。しかし、これまでの慎重な度重なる観測の結果は、彼のこの理論が、この世界がどのようにできているかを正確に記述していることを証明している。私たちの常識的な直観は間違うこともある。私たちの好みは当てにはならない。私たちは特権的な座標系には住んでいないのである。

特殊相対論の重要な論点の一つは、時間が延びるということである。つまり、観測者が光速に近づくにつれて時間はゆっくり進むようになる。腕時計や素粒子にも、そしておそらく植物や動物や微生物の一日の周期やその他のリズムにも時間の延びは適用できる。しかし、人間には当てはまらないはずだ、という反論がある。私たち人類は自然法則からの制約を特別に免除されていて、だからこそ、その恩恵を受けるものと受けないものとを見分けることができるというのである。実際には、アインシュタインの特殊相対論の証明はそのような区別を許してはいない。だが、人類は相対性の例外であるという、この考え方は、人類は神の特別な創造物であるという概念の、もう一つの表現であるといえよう。

なるほど、私たちの場所、私たちの時代、私たちの運動、私たちの世界が、唯一無二のものではないことは分かった。しかし、私たちはほかの動物とは違う独自の存在だ。私たちは特別に創られたのである。宇宙の創造主の特別な愛情が、明らかに私たちには注がれている——。

このような見方は、宗教をはじめほかの分野からも熱烈に支持されてきた。しかし、

一九世紀の中頃、チャールズ・ダーウィンは、うまく機能する遺伝形質を残し、そうでないものを排除するという自然の無情な仕事によって、ある種から別の種への進化が自然界に起こり得ることを示した。「傲慢にも人類は、自分たちは神が干渉するに値するりっぱな作品だと考えている」とダーウィンは簡潔に記している。「もっと謙虚に、人類は動物からつくられたと考えるのが、より真実に近いだろう」。そして、地球上のほかの生物と人類との深遠で親密な関係を認めざるを得ないことは、二〇世紀後半、分子生物学という新しい学問の発展によって、証明されたのである。

いつの時代にあっても、独りよがりな自己中心主義は、科学的に検討され、論証を求められてきた。たとえば今世紀には、性差の本質や無意識の存在、そして多くの精神病や性格の欠点は分子起源であることを理解しようと試みられている。しかし、それでもなお反論は続く。

なるほど、私たちはある種の動物と似通っているのかもしれない。しかし、決して同じではない。推理力、自意識、道具をつくること、倫理、利他主義、宗教、言語、高潔さなどにおいて、ほかの動物とは本質的に違うではないか。これは程度の違いなどではない——。そう、人類はすべての動物と同様、ほかと識別可能な特徴を持っている。しかし、そうでなければ、そもそもどうやってある種とほかの種とを区別するのだろう。人類の特徴が人類独自

のものであるということは、過度に誇張されることが多かった。だが、チンパンジーもまた、推理し、自意識が強く、道具をつくり、利他的な行動をとることもある……。チンパンジーと人類の遺伝子は、実に九九・六パーセントまで共通しているのである（この点については、アン・ドルーヤンとの共著『はるかな記憶』〈朝日文庫〉のなかですでに述べた）。

いままで述べてきたのと一見正反対のように見えながら、実は同じように人類の自己中心主義と想像力の欠如に起因する立場が、文化一般のなかに広範に見受けられる。子どものための物語や漫画に登場する動物たちは、洋服を着て、家に住まい、ナイフとフォークを使い、人間の言葉を話す。三匹の熊がベッドで眠り、フクロウと子猫が美しい黄緑色のボートに乗って海に行き、恐竜のお母さんが子どもを抱き、ペリカンが郵便を配達し、犬が車を運転し、虫が泥棒を捕まえる。ペットは人間の名前を持ち、人形やくるみ割り器やカップや皿が踊り、口々に意見を言い、皿がスプーンといっしょに飛んでいく。『機関車トーマス』の絵本には、人間の姿をしたかわいらしい機関車や列車が出てくる。生きているものであろうがなかろうが、知らずしらずのうちに、私たちは擬人化せずにはいられない。イメージは簡単に浮かんでくるし、それに子どもたちも、この手のキャラクターが大好きである。

「険悪な」空とか、「荒れ狂う」海とか、傷つけられるのに「抵抗する」ダイヤモンドとか、通り過ぎる小惑星を「引き寄せる」地球、「興奮した」分子などと口にするとき、私たちはかつて遠い祖先たちが抱いていたのと同様のアニミズム的世界観に引き戻されている。私た

ちは森羅万象に実体を与える。そして私たちの思考の奥にある太古の記憶の層が、生命を持たない自然に、生命や激しい感情や未来を予測する力さえも吹き込むのである。

地球が自意識を持っているとする考え方は、最近になって「ガイア」仮説へと育ってきている。しかし、これは古代ギリシャ人や初期のキリスト教徒にとっては、あたりまえの事実だった。オリゲネスは「地球もその本性によって、何らかの罪を負っているのだろうか」と考えた。多くの古代の学者たちは、星は生き物だと見ていた。これは、オリゲネスや聖アンブロシウス（異教徒であった聖アウグスティヌスをキリスト教に導いた人）の見方であり、また聖トマス・アクィナスも控えめながら同じ見解だった。太陽について、紀元前一世紀のストア派の哲学者キケロはこう述べている。「太陽は生命体に含まれている火に似ているから、太陽もまた生命であるに違いない」

アニミズム的なものの見方は、最近、再び息を吹き返しつつあるように見える。一九五四年の米国の世論調査では、回答者の七五パーセントが太陽は生き物ではないと答えた。ところが八九年には、それを支持する回答はわずか三〇パーセントに減っていた。さらに自動車のタイヤは感覚を持つかという質問に対しては、一九五四年には九〇パーセントの回答者がそれを否定したが、同様の回答は、八九年には七三パーセントに減少していた。

どうやら、世界を理解するにあたっての私たちの能力には、欠点があるようだ。時と場合によっては深刻な事態を招きかねないような欠点だ。私たちは自分の本性を自然のなかに投

影せずにいられないらしいのだ。これは都合よくゆがめられた世界観を生み出すことになるかもしれないが、一方で、大きな美徳も有している。なぜなら、投影は同情のための必須の前提条件でもあるからである。

そこまでは、分かった。私たちはたいして意味のある存在ではなく、屈辱的にもサルと近縁なのかもしれない。だとしてもしかし、少なくとも私たちは最高の存在である。神と天使を別にすれば、私たちは宇宙で唯一、知的な存在ではないか――。私はかつて、読者から「私は自分の経験から、宇宙には他の知的生命はないことを確信している。だから人類は、宇宙の中心という本来の地位に復帰するはずである」という手紙を受け取ったことがある。しかしながら、科学やＳＦの影響もあって、いまではたいていの人が、少なくとも米国では、この考えを否定している。その理由は、「自分より優れたものは世界に存在しないと考えるような者は、傲慢な狂人にすぎない」と古代ギリシャの哲学者クリシッポスが述べたのと基本的には同じである。

しかし、いまだかつて私たちが地球外生命を見つけていないことは、事実である。私たちは探索を始めたばかりで、問題は未解決のままである。一連の人間中心主義がつぎつぎと否定されてきた経緯を考えると、宇宙は、私たちよりははるかに知的で、はるかに進歩した生命で満たされているように、私には思える。もちろん、私は間違っているかもしれない。なぜなら、私の考えは、惑星の数や有機物の存在の普遍性、進化が積み重なって知的生物が誕生

するために必要な時間、といったデータに基づく、それらしい議論から出された結論ではあるが、科学的に証明されたものではないからだ。しかし、これは現在科学が直面している問題のなかでも、とりわけ知的好奇心に訴えるところの大きいものである。そして本書で示されるように、私たちはこの問題を真剣に取り扱うための道具立てを、いま、ようやく揃え始めたところなのである。

そこから派生する別の問題がある。果たして私たちは、自分たちよりも賢い知性を持ったものをつくることができるのだろうか。コンピュータは人間が独力ではとうていできないような計算を毎日のようにこなし、チェスのチャンピオンや名人たちを負かし、自国語はもちろんほかの言語にも堪能で、作文や作曲も上手にできる。失敗から学習し、船や飛行機や宇宙船を正確に操縦する。コンピュータの能力は着実に進歩し、より小さく、より速く、より安価になってきている。人類の抵抗もむなしく、科学技術の進歩は年々、まるでひたひたと押し寄せてくる波のように、人類の知的独自性という孤島を狭くしている。人工知能に関する技術の歴史はまだ始まったばかりなのに、私たちはすでにかなりうまく、シリコンや金属から知性をつくりだしている。そうすると、これから数十年のあいだに、あるいは二一世紀に、どんなことができるようになるのだろうか。賢い機械がより賢い機械を製造するようになったら、いったいどうなるのだろうか。

しかし、それでも人類は、分に過ぎた特権的な地位を求めることを諦めないだろう。これは物理学や天文学で「人間原理」と呼ばれる。あるいは「人間中心原理」と呼んだほうがよいかもしれない。人間原理にはさまざまな立場がある。まず、「弱い」人間原理はつぎのように主張する。もし、自然法則や物理定数、たとえば光速や電子の電荷、重力定数、プランク定数などが違っていたら、人類の起源へとつながる進化の道筋はけっして実現されなかっただろう、と。異なる自然法則と物理定数のもとでは、原子は結合せず、星は急速に進化してその生命を終えてしまって、その周りの惑星上で生命が進化するのに必要な時間がないかもしれないし、生命体を構成する化合物も合成されないかもしれない。異なる自然法則のもとでは、人類は生まれない、というのである。

このような弱い人間原理に関しては、議論の余地はない。自然法則と物理定数が違えば（それが可能ならばだが）全然違う宇宙が生まれるだろう。生まれるのは多くの場合、生命とは相性の悪い宇宙である（＊2）。私たちが存在しているという単純な事実が、（強制力は強くないが）自然法則に制約を与えている。これとは対照的に、「強い」人間原理ははるかに徹底している。この原理の提唱者たちのなかには、自然法則と物理定数の値は、まさに人類が出現するために（だれが、どのようにして、そうしたかは問わずに）決められていたと主張する者もいる。なぜなら（彼らによれば）あり得べきほかの条件の宇宙のほとんどすべてが、私たちにとって居心地の悪いものであるのだから。こうして、宇宙は私たちのために創

られたのだという、古代以来の自己中心主義は復活するのである。
これは私に、ヴォルテールの『カンディード』に登場するパングロス博士を思い起こさせる。彼は、この宇宙はその不完全な点を考慮してもなお、考えられる最高のものだと確信していた。それはまるで、私がブリッジの最初の一手で勝ったとき、愚かにもこう結論するようなものである。つまり、私が五四の一〇億倍の一〇億倍の一〇億倍つまり五・四×一〇の二八乗種類の手のどれを配られる確率も同じであったはずだから、ブリッジの神様がいて、その神様が私を愛し、最初から私が勝つようにカードを並べて交ぜたのである、と。私たちは宇宙にどれだけの勝ち手があるかを知らない。生命と知性と、そして自己中心的な妄想を生み出すことができる宇宙や自然法則や物理定数が、ほかに何種類あるかを知らない。私たちは、宇宙がどんなふうに創られたのか、いや、宇宙が創られたものかどうかさえも、ほとんど知らないのだから、これ以上こうした考えを追究しても、成果を得るのは難しいだろう。
ヴォルテールは問うた。「なぜ、万物はそこに存在するのか」と。アインシュタインの方程式は、神が宇宙を創る際に何らかの選択をしたかどうかを問うものであった。しかし、もし宇宙が無限に古いなら、つまり、約一五〇億年前のビッグバンは、宇宙の膨張と収縮の無限の繰り返しの一つにすぎないとしたら、宇宙はけっして創られたことはなかったわけで、どうして宇宙は現在のようなありさまであるのか、という疑問も意味を持たなくなる。
一方、もし宇宙の年齢が有限であるなら、なぜ、いまのようなあり方に創られたのだろう。

どうしていまとは全然違う性質を与えられなかったのだろう。ほかの宇宙にはどんな自然法則が伴っているのだろう。それら法則間のつながりを規定する超法則はあるのだろうか。私たちはそれらを見つけられるのだろうか。たとえば、考えられるすべての重力法則のなかで、巨視的な物質の存在を決める量子力学の法則と共存可能なものは、どれだろうか。私たちが可能だと考えるすべての法則が存在可能なのか、あるいは限られたものだけしか成り立たないのだろうか。私たちはどの自然法則が可能で、どれがそうでないのかを決める方法をまだ知らない。それどころか、私たちは、自然法則の間にどんな関係が「許される」のかという、もっとも初歩的な考え方さえ持ち合わせてはいないのである。

ニュートンの万有引力の法則によれば、二つの物体が互いに引っ張り合う力は、互いの距離の二乗に逆比例する。もし、地球の中心からの距離が二倍になれば体重は四分の一になり、一〇倍になれば一〇〇分の一になる。この逆二乗法則があるからこそ、惑星は太陽の周りを、衛星は惑星の周りを、美しい円や楕円の軌道を描いて回ることができるし、宇宙船も正確な惑星間航路を進むことができるのである。つまり、rを二つの物体の重心間の距離としたとき、重力はrの二乗に反比例して変化するのである。

しかし、もしこの二というベキ指数が違っていたら、たとえば、重力法則がrの二乗分の一ではなくrの四乗分の一に比例するとしたら、惑星は閉じた軌道を描けなくなる。何十億回と回転するうちに惑星は、らせん軌道を描いて太陽に向かって落ちて燃え尽きるか、逆に

はるかかなたの星間空間に消え去るかの、どちらかである。宇宙が逆二乗ではなく、逆四乗法則によってつくられていたら、生命が存在できるような惑星は、たとえ生まれたとしてもすぐになくなってしまうだろう。

そうであるなら、あらゆる重力法則のなかで、なぜ私たちは幸運にも、生命と調和する法則を持つ宇宙に住んでいるのだろうか。第一に、もちろん私たちはとても「幸運」である。というのは、もしそうでなかったなら、私たちがここにいてそんな疑問を持つはずもないからである。惑星の上で進化する好奇心旺盛な生物が、惑星を許容する宇宙にのみ発見され得るということは、不思議でも何でもない。第二に、逆二乗法則は数十億年にわたる安定な軌道を許してくれる唯一のものであるわけではない。逆三乗よりも小さなどんなベキ指数の法則でも（たとえば、rの二・九九乗分の一やr分の一）、惑星はたとえ軌道を乱されても、円に近い軌道にとどまりつづけるだろう。私たちは、ほかにも生命と調和的な自然法則があるということを見落としがちである。

しかし、もっと重要な点を見落としてはならない。私たちが持つ重力法則が逆二乗法則であるのは、偶然ではないのである。ニュートンの力学の法則を、それを含めて、より普遍的になっている一般相対論で理解しようとすると、重力法則のベキ指数が二であるのは、私たちが三次元空間に住んでいるからであることに気づく。すべての重力法則を創造主が自由に選んで使えるというわけではないのである。たとえ、無限の数の三次元宇宙を神がいじくり

まわしたとしても、重力法則は常に逆二乗法則になるだろう。ニュートンの万有引力は、いってみれば、私たちの宇宙の付属品ではなく、必需品なのである。

一般相対論では、重力は時空の次元と空間の曲率によって決まる。重力とは時空の局所的な凹凸である。このことは普通には理解しにくく、常識にも反しているが、詳しく調べてみると、重力と質量という概念は別のものではなく、どちらも背後にある時空の幾何学的な帰結であることが分かる。

このような議論は、人間原理とは、その程度のいかんを問わず、調和しないのではなかろうか。私たちが依存している自然法則や物理定数は、ほかの自然法則やほかの物理定数の集合、おそらくは膨大な集合の一部分にすぎない。その集合のなかには、生命と調和的な自然法則や物理定数もあるだろう。ほかの宇宙で、どんな自然法則や物理定数が許されるのかを、私たちは知らないし、知ることもできない。さらに宇宙の創造主さえも、任意の自然法則や物理定数を選べるというわけではないらしい。どの自然法則、どの物理定数が選択可能かということについて、私たちはまだほんの断片的なことしか理解していないのである。

そのうえ、私たちは、仮想的なほかの宇宙のどれ一つにも、近づく術を持っていない。人間原理が正しいかどうかを調べる実験的方法はないのである。そして、仮に、そのような宇宙の存在が、十分に確立された理論（たとえば、量子力学や重力理論）からきちんと導かれたとしても、宇宙はこれ以外に存在しないと主張する、より優れた理論が存在しないとは、

私たちには断言できない。これがはっきりする時まで（その時が来るならの話だが）人類が宇宙の中心であることや、人類の唯一性を保証するものとして、人間原理を信じるのは、時期尚早であると、私は考える。

結局、宇宙が生命や知性の発生を許すように創られているとしたら、無数のほかの生命も宇宙に存在している可能性があることになる。もしそうなら、私たちは生命と知性の存在を許す少数の宇宙の一つに住んでいるということになるが、それでは人間中心主義者にとっての慰めにはならないだろう。

人間原理では、説明に窮する例をあげよう。そう、限られた自然法則と物理定数が私たちと調和的であるとしよう。では、なぜ、同じ自然法則や物理定数が岩石ができるのにも必要とされるのだろう。なぜ、岩石ができるように設計された宇宙については述べないのか。なぜ、強い岩石原理あるいは弱い岩石原理は存在しないのか。もし、岩石が思索することができたなら、きっと岩石原理は、知性の最先端に位置したに違いないのである。

今日、全宇宙でさえ、特別なものではないということを定式化した宇宙モデルがある。かつてモスクワのレベデフ物理学研究所にいて、現在はスタンフォード大学にいるアンドレイ・リンデは、弱い核力と強い核力、それに量子物理学に関する最新の知識を駆使して新しい宇宙モデルを築いた。リンデが思い描いたのは、広大なコスモス（宇宙）である。それは、半径一五〇億光年、年齢一五〇億歳と考えられている私たちのこの宇宙よりずっと大きく、

おそらく空間的にも時間的にも無限に広がっている。このコスモスでは、私たちの宇宙と同じように、ある種の量子的なゆらぎが存在し、電子よりずっと小さい微小な構造があらゆる場所でつくられ、変形し、消滅している。そして、私たちの宇宙と同じように、真空のゆらぎが、たとえば電子と陽電子のような素粒子のペアをつくる。量子的なゆらぎの大部分は極微小の大きさのままであるが、そのなかで、ほんの一部がインフレーションを起こし、成長して、かなりの大きさの宇宙になる。しかし、それは私たちからあまりに遠く、つまり私たちの宇宙の大きさである一五〇億光年よりずっと遠いため、たとえそんな宇宙が存在しても、私たちにはまったく手が届かず、見つけることができないのである。

これらの宇宙の大部分は、最大の大きさに達すると、収縮に転じ、やがて一点に収斂して永遠に消えてしまう。残りのうち、あるものは再び膨張し、膨張と収縮を繰り返すかもしれない。また、あるものは無限に膨張を続けるかもしれない。異なる宇宙には異なる自然法則があるだろう。リンデによれば、私たちはそんな宇宙のうち、たまたま物理法則が、宇宙膨張や銀河や恒星や地球や生命を生み出すのに適していたものの一つに住んでいるのである。私たちは、私たちの宇宙はただ一つであると思っている。しかし、それは膨大な数、おそらくは無数に存在する、どれも正当な根拠のある、どれも独自性を持った、そしてどれも孤立した宇宙の一つなのである。なかには生命が存在するものもあれば、そうでないものもあるだろう。このような見地に立つと、私たちが観測可能なこの宇宙は、はるかに大きく、無限

に古く、観測不可能なコスモスのなかで最近創られた片田舎にすぎないことになる。もし、このような考えが正しいなら、私たちには、唯一の宇宙に住んでいるという、残された最後の誇りさえ（それもとっくに色あせているに違いないのだが）、与えられないことになる（＊3）。

現在のところ見込みはないが、いつの日にか、まったく異なる自然法則を持った近隣の宇宙を見通すことができるようになるかもしれない。そうすれば、ほかにどんな自然法則があり得るのかを知ることができるだろう。ひょっとすると、近隣の宇宙の居住者は私たちの宇宙を見通すことができるかもしれない。もちろん、そんな空想は私たちの知識をはるかに超えてしまっている。しかし、リンデのコスモスのような概念が正しいなら、驚くべきことではあるが、この宇宙という荒野のかなたのどこかに、私たちを待っている辺境の居住者が存在するのである。

近い将来に宇宙を創造するには、私たちの能力ははるかに不足している。強い人間原理の正否を証明することはできない（もっとも、リンデの宇宙モデルは検証可能な方法があるのだが）。地球外生命のことは措くとしても、もし人間中心主義の独りよがりな主張が、実験による検証を受け付けないような場所に引きこもってしまったとしたら、科学の分野における一連の人間中心主義との闘争は、大差で勝利を収めたことになる。

哲学者イマヌエル・カントはこういった。「もし人間が存在しないなら……すべての天地の創造物はむなしく、終わりのないただの荒野だろう」。長らく支持されてきたこの見解が、まったく人類の傲慢であることは、いまでは明らかである。いわば「平凡の原理」こそが、私たちにふさわしいように思われる。いったい誰に、人類が宇宙の中心にいるという命題に矛盾する証拠を、これほど繰り返し徹底的に突きつけられることを予想できたであろうか。しかし、論争の大部分にもはや決着がつき、どれほど苦痛であろうとも、つぎの一文に要約される結論を、私たちは受け入れなければならない。すなわち、私たちは宇宙のドラマのなかで先導的な役割を与えられてはいないのである、と。

もしかすると、主役を仰せつかった、私たちではない生命体が存在するのかもしれない。あるいは、そんなものはいないのかもしれない。それはまだ分からない。しかし、そのどちらにしても、私たち人類には、謙遜がふさわしいのである。

（＊1）聖アウグスティヌスは、『神の国』のなかでこう述べている。「六千年にも満たない昔、最初の人間が現れた……反駁されるというより、あざ笑われるべきは、時の長さが確かな真実とは大違いで、矛盾するということを納得させようとしている人々ではないか。……私たちの宗教における神聖な権威に守られている私たちは、それに反するすべてのことは間違っていると何の疑いもなく信じている」。彼

は、世界は一〇万年の年齢であると教える古代エジプトの伝説を「忌まわしい嘘」と激しく非難する。聖トマス・アクィナスも『神学大全』で、はっきり述べている。「世界の新しさは、世界自身によっては証明され得ない」。彼らはそれほど確信していたのである。

（＊2）私たちの宇宙は、生命と、あるいは私たちが生命に必要だと思っているものと、ほとんど相容れない。たとえ一〇〇〇億の銀河の恒星の一つひとつに地球のような惑星があるとしても、生命は宇宙全体の一〇のマイナス三七乗ほどの体積に当たる部分にしか繁栄できない。わかりやすくするために数字を並べてみれば、宇宙の〇・〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇〇一が生命に適した場所なのだ。一の前に三六個の〇。それ以外の場所は、冷たく光の届かない暗い真空である。

（＊3）これらの概念においては、言葉の使い方がむずかしい。ユニバースに相当するドイツ語は das All であり、それはまさにすべてを含有することを意味している。私たちの宇宙は「多重宇宙」の一つと呼んでもいいだろう。しかし、私はすべてのものを含む意味での宇宙については「コスモス」を、私たちが知り得るただ一つのこの宇宙については「宇宙（ユニバース）」を使うことにしたい。

4　だれのための宇宙？

かつて汐は、信仰の海にも満ち
襞もゆたかに、光の帯を畳んだように
現世の岸を囲んでいたのに
今、聞えるのはただ
漠々とした地の果と、裸わな玉砂利に
寒々と吹く夜の息吹きに合わせ
悲しげに長く続く　退き際の挽歌ばかり
マシュー・アーノルド「ドーヴァの岸」（一八六七年）から。老田三郎訳

「なんて美しい日没だろう」とか「日が昇る前に起きる」と、私たちはあたりまえに口にする。このような言い回しは、私たちが日常会話で科学的事実などまるで気にかけていないことを示している。地球が回転するといわなければならないところを、太陽が昇ったり沈んだりすると表現して恥じるところがない。コペルニクスに忠実な表現は、このようであるだろう。「ビリー、地球が回転した結果、太陽がその場所の地平線の下に見えなくなる時間までは家にいてちょうだい」。ただし、言い終わるころには、とうにビリーはいなくなっているだろうが。私たちは、太陽中心の世界観を正確に伝える洗練された話し方すら身につけられなかった。私たちが中心でほかのものはすべて私たちの周囲を回っているという思い上がりが、私たちの言語には組み込まれていて、この言語を子どもたちにも教えている。私たちは

うわべだけのコペルニクス主義者で、中身は地球中心主義から宗旨替えしていないのである。

一六三三年、ローマカトリック教会は地球が太陽の周りを回転していると教えたかどでガリレオを有罪にした。この有名な議論をくわしく見てみよう。ガリレオは、著書（『天文対話』）の序文に、地球中心の宇宙と太陽中心の宇宙という二つの仮説を比較して書いた。

天体現象は、コペルニクスの仮説を補強し、その絶対的な勝利が間違いないことを思わせる。

そして、著書の後半で彼は告白する。

私はコペルニクスとその弟子たちをいくら称賛してもしきれない。彼らは、知性の力で感覚に暴力を加え、感覚的経験が明らかに反対のことを示しているにもかかわらず、理性が命じることを優先させることができた。

ガリレオに対する起訴状で教会はこう述べた。

地球が宇宙の中心でもなければ、不動のものでもなく、日周運動もするという説は、ば

かげており、精神においても神学的にも異端であり、少なくとも信仰において誤りである。

ガリレオは答えた。

地球が動き、太陽が静止しているという説が糾弾されるのは、太陽が動き地球が静止していると聖書の多くの個所で述べられているからである……。敬虔な人は聖書が嘘をつくことはあり得ないと宗教の名を借りていう。しかし、しばしば聖書は難解で真の意味を発見するのは困難であり、書かれている言葉以上のものを意味している、ということをだれも否定できないだろう。自然についての問題を議論するには、聖書からではなく、実験や証明から始めるべきだと思う。

しかし異端誓絶文で、ガリレオはこういわされた（一六三三年六月二二日）。

太陽が宇宙の中心で不動であり、地球は中心ではなく動いているという誤った学説を完全に捨て去るよう、私は検邪聖省に警告されました。……私は異端、つまり太陽は宇宙の中心にあって動かず、地球は中心ではなく動いているという考えを抱き信じているのではないかとの疑いをかけられました。……私は誠実な心と偽りのない信仰心をもって、同じ

あやまちと異端、ならびに一般に聖なるカトリック教会に背くすべての異説や教派を呪い嫌悪することを誓います。

一八三二年になって、ようやく教会はガリレオの著作を、禁書のリストからはずした。現代科学に対する教会の不安は、ガリレオの時代から潮の干満のように続いてきた。水位の高まりを示す最近の事例は、ピウス九世が一八六四年につくった「謬説表」である。ピウス九世はヴァチカン会議を招集して、ローマ法王の不可謬性をはじめて宣言した。以下はその抜粋である。

神の啓示は完全である。したがって、人類の理性の進歩に対応する連続的で不確定の進歩に支配されるものではない。……理性の光に導かれ自己の信ずる宗教が真実であると確信し公言する自由はだれにもない。……カトリック教会こそが唯一の真実の宗教であることを独断的に定義する権限を、教会は持つ。……今日でもすべてのほかの崇拝の形体を排し、カトリックが国家の唯一の宗教として支持されることが必要である。……いかなる形式であろうと、市民の信仰の自由、あるいは、意見や考えを公に表明する権利は、人々の品行や心性をたやすく堕落させる。……ローマ法王は、進歩、自由、現代文明を甘んじて受け入れ、賛同することはできないし、そうすべきでもない。

ようやく一九九二年、教会はその名誉にかけて、不本意ながら、ガリレオに対する弾劾を撤回した。しかしながらまだ、ガリレオの説に反対したことの重大さに気づくにいたってはいない。この年、法王ヨハネ・パウロ二世は講話のなかでつぎのように述べた。

啓蒙時代から今日まで、ガリレオ事件は一種の「伝説」だった。結果論から印象をいうと、事実とははなはだ異なっている。流布している見解に従うなら、ガリレオの事例は、カトリック教会が思い込みを根拠に科学の進歩を拒否したこと、あるいは「教義」の閉鎖主義が、自由な真実の探求を抑圧したことの象徴ということになる。

歳をとって病弱なガリレオを投獄し拷問にかけた宗教裁判が、そのような解釈を認めるばかりか必要とすらすることは間違いない。年周視差のような有無をいわせぬ証拠が示されるまでパラダイムの変換をしないことは、科学に対して警告や制約となるばかりか、議論や討論にとっても脅威となる。新たな学説を検閲し、その支持者を拷問で脅すことは、教義に信じられない点があることや、うわべは保護されている教区民のなかに不信心者がいることをさらけ出すものである。なぜ、脅しやガリレオの自宅軟禁が必要だったのか。真実というものはあやまちに対抗して自己を守ることができないのだろうか。

法王は、こうつけ加えている。

地球中心主義を守っていた時代の神学者の誤りは、聖書の文字どおりの解釈から、何らかの方法で、物理的世界像が理解できると考えたことである。

根本主義の支持者にとっては、聖書がいつも文字どおりに正しいとは限らないと法王から聞くのは苦しいことだったが、これは本当に著しい進歩だった。

しかし聖書がすべて文字どおりには正しくないなら、どの部分が神の直観で、どこが不確かな人類によるものなのだろうか。もし、聖書に間違い（あるいは年代に無知であったことを容認する言辞）があるのを認めるなら、いったい聖書はどのように倫理や道徳の無謬の指針となり得るのか。宗派や個人は聖書の好みの部分を受け入れ、不都合なところや煩わしいところは拒否してもよいものなのか。殺人の禁止は社会が機能するうえで不可欠だが、もし殺人に対する神の懲罰がとうていあり得ないとすれば、それを免れることができると考える者が多くなるのではないだろうか。

多くの人がコペルニクスとガリレオを、何の役にも立たず、社会の秩序をむしばむ存在と見なした。聖書に書かれているまごうかたなき真実への挑戦は、どのような根拠に基づくものであれ、同じような結果をもたらす。科学がいかに人々をいらいらさせるものであるかは、

たやすく理解することができる。伝説を末長く伝える者を批判するのでなく、公衆のうらみは伝説の信憑性を傷つけた者に向けられるのだ。

私たちの祖先は経験から類推して起源を理解した。ほかにどんな方法があったろうか。宇宙は宇宙卵からかえった、あるいは女神が男神と交わって懐妊した、あるいは造物主の作業場での作品（おそらく、数々の失敗作のなかで一番新しいもの）だった。宇宙は私たちが見ているものよりそんなに大きくない、書かれたり口伝えの記録よりさほど古くない、私たちが知っている場所とさほど違わない、等々。

宇宙についても私たちは、身近なものになぞらえようとする傾向があった。精一杯の努力がなされたとはいえ、私たちにはあまり豊かな発想というものがなかった。西洋の天国は穏やかでふんわりとしており、地獄は火山の内部のようである。多くの物語のなかで、天国は神を、一方の地獄は悪魔を長とするしっかりした階級組織で支配されている。一神教は王のなかの王である神について語った。すべての文化が、私たちの政治体系に似た何かが宇宙を動かしていると想像してきた。この類似性を疑わしく思う人はほとんどいなかった。

やがて科学が登場して、私たちがあらゆるものの尺度であるわけではないこと、私たちには想像できないような驚くべき現象が存在すること、宇宙は私たちにとって心地よく納得できるようにはできていないこと、を教えてくれた。私たちは私たちの常識の特異性について

いくらかを学んできた。科学は人類の自意識を高めてくれた。確かにこれは通過儀礼で、成熟への一歩だった。それはコペルニクス出現前の幼稚で自己陶酔的な概念とはまったく対照的である。

しかし、なぜ宇宙は私たちのために創られたと考えたくなるのだろうか。なぜその考えは魅力的なのだろうか。なぜ私たちはその考えを育ててしまうのだろうか。私たちの自尊心があまりにも根拠のないものであるために、私たちのためにあつらえられた宇宙でなければそれを支えきれないのだろうか。

もちろん、このように考えることは虚栄心をくすぐる。「人は自らの望むものを真実だと考える」とデモステネスはいった。「信仰の光は私たちが信じるものを見せてくれる」と、楽天的な聖トマス・アクィナスはいった。しかし、私には何か別のものがあるかもしれないと感じられるのだ。霊長類には一種の自民族中心主義がある。私たちは、自分がたまたま生まれたどんな小さなグループに対しても情熱的な愛と忠誠心を持つものである。ほかのグループのメンバーは、軽蔑にも値しない、拒絶と敵愾心の対象でしかない。外部の観察者にとっては、事実上、識別できないし違いがない、同じ種に属しているにもかかわらず。これは動物界で私たちにもっとも近い親戚のチンパンジーに見られる行動様式である。アン・ドルーヤンと私は、前著『はるかな記憶』で、この世界観が数百万年前の偉大な進化に貢献したことを述べたが、それは今日では危険なものに転じてしまった。現在の全地球的な技術文明

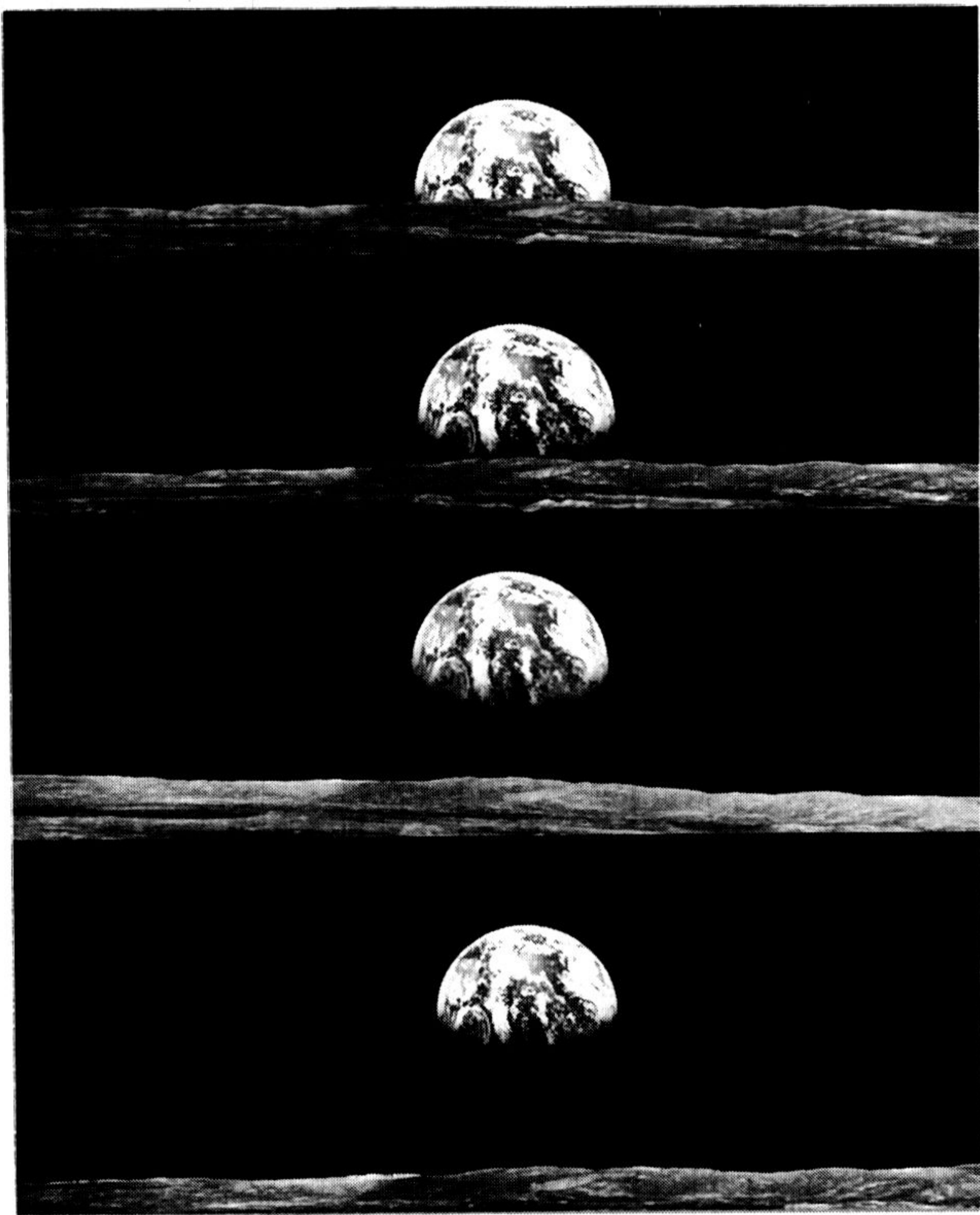
から一番遠く離れている狩猟採集グループですら、その小さな集団がどのようなものであれ、自分たちの集団を特別なものだと思っている。ほかの人々はすべて自分たちとは少し違っていて、人間として少し足りないところがあると見ているのである。

もしこれが私たちに本来備わった世界観であるなら、宇宙における私たちの位置について判断をするたびに、注意深く疑いながら科学的検証をすることもなく、ほぼ常に自分たちとそれを取り巻く身近なものを中心に置いてしまうことは、驚くに値しない。私たちはさらに、それが客観的事実であって、自分でもうすうす感づいているように、うっぷん晴らしの場を求める私たちの偏見ではないと信じたいのである。

したがって、一群の科学者が、絶え間なく「あなたは普通だ。あなたは重要ではない。あなたの特権は不当である。あなたに何も特別なものはない」と熱弁をふるうのは不愉快である。熱しにくい人ですら、おまじないのように、こういったことを繰り返し主張する人に、やがてはいらいらしてくるだろう。科学者は、人間をおとしめることで満足を覚える奇妙な人種であるように見える。なぜ、彼らは私たち人間が優れている証拠を見つけられないのか？　元気づけてほしいのに！　高めてほしいのに！　こうした議論においては、私たちを落胆させる呪文でしかない科学は、冷淡で、遠くにあって、覚め過ぎて、孤立していて、人々の要求に応えようとしない存在でしかない。

それにもし、私たちが特別の意味を持った存在ではなく、宇宙の中心にもおらず、神の寵

愛を受ける者でもないとしたら、何が私たちの神学の倫理基準になるのだろうか。宇宙における私たちの位置づけの真の有り様は、それが発見されて以来長いあいだ、受け入れられなかった。反対論はたいへん強く、この問題をめぐる論争の足跡がむきだしのまま残されているほどだ。そして時にはそのなかに、地球中心主義者がなぜこの発見にかくも頑強に抵抗したのか、その動機も赤裸々に示されている。たとえば、一八九二年の英国の雑誌「スペクテイター」に掲載された無署名のコメントに、それは明らかである。

惑星が太陽中心に動いていることの発見は、太陽系のなかでの地球を本来の「重要ならざる地位」に引き下げたばかりでなく、これまで人類を導き抑制してきた倫理基準をも同様に、本来の「重要ならざる地位」からはるか遠くに引き下げた。これは疑いもなく、多くの霊感を受けた作者たちの自然科学が絶対に確かであるどころか誤っていたという事実によるものである。確かに、彼らが倫理や宗教の教えに感じていた信頼をすらはなはだしく揺るがすほどの説得力を持った発見であった。しかし大勢においては、地球は太陽や月や恒星がその周りを回る中心ではなく、ただの宇宙のかたすみに人は住んでいるに過ぎないことを発見して以来、人類が感じていた「重要ではない」という感覚を確認したに過ぎない。人類は今後、神の試練や加護の対象となるほど自分は重要ではないと感じるだろうし、またこれまでも感じてきたことは疑いようがない。地球が蟻塚の一種で、人類の生と

月面の「スミスの海」から昇る、欠けた地球。スミスの海は大昔の衝突でできた大盆地だ。もし、私たちが月に住んでいたとしたら、自分たちは宇宙の中心にいると思うだろうか？　アポロ11号撮影。(NASA提供)

死が、穴に入ったり出たりして食物や陽光を探すアリと同じようなものだとしたら、人生がそれなりに十分重要視されることはないだろうし、新たなる期待のかわりに、深刻な運命論と絶望とが人類に付随することになるだろう。

少なくとも現在、地平線は十分広大である。すでにある無限の地平線に慣れ、その地平線を考えることで精神が均衡を失わなくなるまで、さらに広大な地平線を求めることは時期尚早である。

哲学と宗教から、私たちは何を本当に欲しているのだろうか。弁解か、癒やしか、それとも慰めか。伝説を確かめたいのか、自分たちの実状を理解したいのか。宇宙が私たちの好みに一致しないといってうろたえるのは、子どもじみている。大人ならそんな失望を活字にすることを恥ずかしく思うだろう。うろたえるにあたっての当世風の方法は、宇宙を非難する（まぎれもなく無意味なことだ）のではなく、私たちが宇宙を知り得る手段、すなわち科学のせいにすることである。

ジョージ・バーナード・ショーは、ジャンヌ・ダルクの生涯を材料とした『聖ジョーン』という戯曲の序文で、科学の正体は、私たちの信じやすさを食い物にし、異なる世界観を押しつけ、信念を脅すものであると書いた。

中世、人は地球が平らだと信じた。少なくとも、感覚的にはそう信ずるに足る証拠があった。私たちは地球が丸いと信じるが、これは、わずか一パーセントの人がとても奇妙な信念を物理的な証拠として示したからでなく、現代科学が、明白なものはすべて真実ではないと、私たちに信じ込ませたからである。魔法のようなもの、ありそうもないもの、異常なもの、巨大なもの、その逆に極微小なもの、無慈悲なもの、そして暴虐なものが、すべて科学的なのである。

最近では、英国のジャーナリスト、ブライアン・アップルヤードの著書『現代の理解――科学と現代人の心（Understanding the Present : Science and the Soul of Modern Man）』がある。この本は世界中の多くの人が感じてはいても、いいにくかったことをはっきりさせた。アップルヤードの率直さは新鮮である。彼は真の信仰者で、現代科学と伝統的な宗教のあいだの矛盾のなかに私たちを放置しようとはしない。

「科学は私たちの宗教を奪い去った」と彼は嘆く。では、どんな宗教を彼は望んだのだろう。それはつぎのようなものだ。「人類は全体系の先端であり、中心であり、最終目標であった。その宗教は宇宙地図上に私たちをしっかりと位置づけた」。……「私たちは終点であり、目的であり、巨大で透明な殻がその周りをめぐる合理的な回転軸である」。「救済劇の周りに建設される超自然体であるとして提示される、カトリック正教会の宇宙（コスモス）」を彼は

望んでいる。それによってアップルヤードがいわんとしていることは、明白な禁止命令があったのにもかかわらず、一人の女と一人の男がかつて禁断の実を食べ、その反抗的な行ないによって宇宙は、はるかのちの子孫を試行錯誤させる装置に変わってしまったということである。

対照的に現代の科学は「私たちを偶然の所産として提示する。私たちは宇宙によってつくられたが、私たちが宇宙をつくったのではない。現代人は結局のところ何ものでもなく、天地創造に何の役割も果たさなかった」。科学は「精神を腐食し、いにしえの権威や伝統を焼き払う。それは何ものとも共生できない」。……「科学は静かにそれとなく、私たちに私たち自身を捨て、真実の自分であることをやめよと語りかける」。それは「自然が沈黙した異質な光景」を暴き出す。……「人類はそのように暴き出されたものと共存することはできない。唯一残された道徳は慰めの嘘でしかない」。何事であれ、小さな存在に過ぎないという耐えられない重荷に向かい合うよりはましである。

ピウス九世を回顧する一節で、アップルヤードは「現代民主主義は、相互に両立しない複数の宗教に対しては、いくつかの限られた禁止事項に同意するよう強いる以上のことは期待されない」という事実さえも非難する。「それらの宗教は互いの教会を焼き払ってはならないが、互いの神を否定し、罵ることは許されよう。これは効果的で科学的なやり方である」

しかし、ほかにどんな選択肢があるだろうか。不確かな世界でかたくなに確実であるふり

をすることか。事実がどれほど都合の悪いものであっても、慰めとなる信仰体系を受け入れることか。何が本物か知らなくて、どうやって現実と対処してゆけるだろう。実際的な理由からも、長く白日夢に沈溺しきって生きてゆくわけにはいかない。お互いの宗教を検閲して、お互いの教会を焼き払うべきだろうか。人類の何千もの信仰のどれが、確固として普遍的で不可欠のものになってゆくか、どうやって確かめることができるのだろうか。

ここに引用した彼の考えは、深遠で壮大だが冷淡な宇宙を前にして、私たちに勇気が欠けていることを暴き出す。自らに都合良く思い込む才能に恵まれた私たちに、科学は、主観が自由に世界を支配するわけではないことを教えてくれた。これはアップルヤードが科学を信じない理由の一つである。科学はあまりに理性的で整然として、非人格的に見える。科学の結論は、自然に対する疑問から引き出されるが、必ずしもあらかじめ私たちの欲求を満足させるように計画されたものではない。アップルヤードは穏健さを嘆き悲しむ。彼は無謬の教義を、自ら判断しなければならないことからの解放を、疑うことではなく信じることへの義務を、切望した。彼は人類が誤りがちであることを理解しなかった。彼は私たちの社会制度や宇宙観において、誤りを正す一連の手法を体系化する必要を認めようとしない。

これは親が来てくれないときの幼児の泣き声に似ている。しかし、たいていの人は結局のところ、現実世界に取り組むようになる。そして、幼児がいわれたとおりにしている限り、安全を確実に保証してくれる両親がいないときに味わうのと、同じ辛さに向かい合う。そし

て結局、たいていの人は宇宙と調和してやってゆく方法を見つける。とくに、素直に考える道具を与えられたときには。

アップルヤードは、科学が支配的であるような時代において「私たちが子どもたちに引き渡すものはすべて、それを生んだ文化も含めて、真実でも、決定的でも、あるいは永続的でもないという確信である」とこぼす。私たちの遺産が不十分であることについて、彼は正しい。しかし、その遺産について根拠のない確信論を付け加えることで、その不十分さが補完されてゆくのだろうか。「科学と宗教は容易に分離可能な、それぞれ独立した領域であるという偽善的な希望」を彼は軽蔑する。それどころか、「科学は現状では絶対に宗教と両立できない」というのである。

しかしアップルヤードは、本当のところ、世界の本質についてのあからさまに間違った見解に異議を唱えることを禁じるのは難しいと気づいている宗教が、いまではあるといおうとしているのではなかろうか。尊敬を集めている宗教指導者も、私たちと同様に時代の産物であり、誤りを犯したかもしれないことを、私たちは知っている。たとえば、礼拝堂に入るときに帽子をかぶるべきか取るべきか、牛を食べるべきか豚を避けるべきか、あるいはその逆かといった些細なことから、神はいないのか、唯一の神なのか、たくさんの神なのかといったもっとも中心的な問題まで、宗教は互いに矛盾し合っている。

科学は私たちの多くを、ナサニエル・ホーソーンに見いだされたときのハーマン・メルヴ

ィルのような状態に導く。「彼は信じることができず、不信という状態に満足していることもできなかった」。あるいはジャン＝ジャック・ルソーがこういったようにも。「彼らは私を説得できなかったが、私を困惑させた。議論は私をぐらつかせたが、私を納得させることはなかった。……人が強く望むものを信じないようにすることは難しい」。俗界の権威と宗教界の権威とによって教えられてきた信仰の体系が傷つけられるとき、一般的に権威に対する尊敬も損なわれるだろう。教訓ははっきりしている。政治指導者だって誤った政策を採用しないよう、注意しなければならないのである。これは科学の欠点ではなく、恩恵の一つである。

さまざまな価値観が小競り合いを繰り返している状況は不安定なものだし、私たちにもっと多くのことを要求する。それにひきかえ、世界観の一致は私たちを安定させる。しかし、私たちが動かぬ証拠に反対してまで祖先たちの完璧さに固執しさえしなければ、知識の進歩は私たちに、先達が確立したコンセンサスをいったん解体したうえで修復することを要求するのだ。

科学は、宗教をはるかに超えた畏怖をもたらし得るものではなかろうか。それなのに、科学を検討して、「これは私たちが考えたより良いものだ。私たちの預言者がいったより、宇宙はもっと広く、もっと大きく、もっと深遠で、もっと優美である。神は私たちが夢見たより偉大であるに違いない」と結論づけた宗教は皆無である。これはいったいどういうことな

のだろうか。そのかわりに彼らはいう。「いや、いや、私の神は小さい神で、私は神にそのままでいてくれといいたい」。現代科学が明らかにした宇宙の壮大さを強調すれば、新旧を問わず宗教は、在来の信仰が得られなかった尊敬や畏怖をさらに多く呼び起こすことができるかもしれないのに。遅かれ早かれ、そんな宗教が現われるだろう。

二、三千年前なら、宇宙は私たちのためにつくられたという考えを抱いていても恥じる必要はなかった。それは、私たちが知っているあらゆるものに合致していたし、私たちのなかでもっとも博識な者が無条件の真実として私たちに教えてくれたことでもあった。しかし私たちはその後、多くのことを発見した。今日なお、このような旧来の立場を支持しつづけるのは、明らかである事実を故意に無視して、自分自身の真の姿から目をそむけることにほかならない。

それでも、このような偏狭から抜け出るのをいらだたしく感じる者も多い。私たちがまったく取るに足りない存在であるという考え方は、いまでもあまねく受け入れられているわけではない。そうであっても、公共の安定に資することの大きかったかつての幸福な人間中心主義という確信とは違って、私たちに自信を失わせるからだ。私たちは、自分を欺き、明らかなことなど何もないと自分自身をいいくるめながらであっても、ある目的のため存在したいと願う。レフ・トルストイは「人生にとって意味のない不条理こそ、人間にとって受け入

れやすい、唯一議論の余地のない知識である」と書いた。私たちの時代は、私たちのうぬぼれの正体がつぎつぎと暴かれ、しだいに増してゆくその重みの下で苦しんでいる。私たちは新参者だ。私たちは宇宙の僻地にいる。私たちは微生物や泥から発したのである。類人猿は私たちのいとこだ。私たちは自分の思考を完全に制御できるわけではない。もっと賢くて私たちとはまるで異なる生物が、どこかほかの場所にいるかもしれない。そのうえにさらに、私たちは地球を台無しにして、自分自身に危機をもたらしている。

私たちの足元で落とし穴がバタンと開き、気づくと、私たちは妨げるものが何もない奈落にいる。私たちは深い暗闇のなかで彷徨し、捜探隊を出してくれるものはだれもいない。厳しい現実を前に、もちろん、私たちは目を閉じる。そして、安全な家でくつろいでいてよいのだと、落下は悪い夢のなかのできごとなのだと、思おうとする。

私たちは宇宙における私たちの位置についての共通認識を欠いている。人類の行く末に関する展望において、絶滅はするまいという感慨以外に、意見の一致はないだろう。とりわけ厳しい時代になると、私たちは自暴自棄になり、勇気づけてくれるものを求め、相次ぐ降格や希望の挫折を受け入れようとはせず、私たちは特別であるという言説に敏感になる。たとえその根拠が紙の薄さほどのはかないものであっても意に介さずに。無限につづくであろう夜の暗闇を何とかしのぐのに必要な、ちょっとした神話や儀式に、だれが共感や理解を示さずにいられるであろうか。

しかし、私たちの目的が自信を回復したかのようにとりつくろうことにあるのではなく、深遠な知識そのものにあるのなら、この新たな認識から得るものは失うものよりはるかに重要である。私たちの存在の小ささから喚起される恐怖心を克服できたなら、広大で畏怖の念を呼び覚ます宇宙の入り口にいる自分たちの姿に気づくだろう。私たちの祖先が立ってい(ることを信じ)た、整然とした人類中心の舞台は、そこから眺めると、時間的にも空間的にも、そしてこれからの可能性においても、とても小さく見える。私たちは宇宙の何十億光年のかなたに、ビッグバンの直後の宇宙を見つめ、物質の細かい構造を見抜く。私たちは地球の核や燃える恒星の内部まで見通す。私たちは、地球上のあらゆる生物の多様な技能や性質について、遺伝子に書き込まれた情報を読む。私たちは私たち自身の起源に関する隠された部分を明らかにし、私たちの性質や見通しについて、苦悩しながら理解を進めてゆく。私たちは餓死する者のないように農業を生み出し、改良してゆく。何十億人の命を救うワクチンや薬を開発する。私たちは光速で交信を行ない、地球を一時間半で一周する。七〇以上の天体に多数の探査機を送り出し、そのうちの四機は他の恒星へと向かっている。私たちは、私たちの成し遂げたことを喜び、人類がかくも遠くまで見ることができたことを誇り、場合によっては私たちのうぬぼれをへこませた科学の力を借りて、この功罪を判断する。これはすべて正当である。

雷、嵐、地震、火山、旱魃、洪水、長い冬……。祖先たちにとって恐ろしいものが、自然

界にはたくさんあった。彼らの手に負えない自然を、十分に理解することは無理であろうが、なだめ制御することなら可能かもしれない。宗教は一つには、そのような試みとして始まった。科学革命は、秩序を内在させた宇宙を私たちに垣間見せてくれた。宇宙には、ヨハネス・ケプラーがいうところの「大宇宙の調和」がまさにあった。自然を理解することができれば、それを制御する、あるいは少なくともそれがもたらす災害を軽減することができるという期待がある。この点で、科学は希望をもたらした。

人間中心主義という偏狭を脱することをめぐる大論争はたいてい、そうすることによって何が起こるかを考えることなく始まった。情熱的で好奇心に富む人類は、自分たちの状況は実のところいかなるものであるのか、つまり人類とこの世界は唯一のものなのか月並みなものなのかどうか、あるいは宇宙はどう作用しているのか、つまり自分たちの起源と運命はどのようであるのか、について理解することを望んだ。意外にも、この論争が、深遠かつ実際的な利益を生み出した場合もある。アイザック・ニュートンが、太陽の周りを惑星が動いていることを説明するために用いた数学的な証明は、近代技術の多くを生み出したまさにその理論なのである。産業革命の問題点は多々指摘されている。しかしそれにもかかわらず、依然として、農業国が貧困から脱出して近代化を遂げる場合のモデルとして、この歴史的過程は普遍的である。論争は、まさに生活にかかわる結果をもたらしたのである。

いままで述べてきたことは、間違っているかもしれない。バランスはどこか別のところに

あるのかもしれない。人類は概して平穏を乱すような宇宙について知りたくなかったのかもしれない。私たちは普遍的な知識への挑戦を好まなかったのかもしれない。だが、きわめて大きな私たちの功績といってよいことがある。私たちは、明らかな証拠があればそれに従い、たとえそこから導かれる結論が気力をくじくようなものであっても認めてきた。いつの時代にも、そうした行為に対する強い抵抗があったにもかかわらず。宇宙は広く古く、私たち個人や私たちの歴史的な経験は小ささやかである。宇宙では、日々いくつもの太陽が生まれ、いくつもの天体が消えてゆく。その宇宙に新たに現われたばかりの人類は、地球という模糊とした物質の塊にへばりついているのである。

私たちのためにあつらえられた庭園に置かれ、人間以外の住人はみな、私たちが好きなように利用する目的で配置されているとしたら、私たちはどれほど満足しただろうか。西洋にはこれに似た、よく知られた物語がある。すべてが私たちのためにあるのではない、という点では異なっているが。私たちがその実を食べてはならない特別な木がある、それはエデンの園にある知恵の木だった、というものである。知恵と理解力と賢さが、この物語のなかでは私たちに禁じられていた。私たちは無知でありつづけるはずであった。しかし私たちは耐えられなかった。私たちは知識に飢えていた。私たちが飢えをつくったのだといっていいかもしれない。これが、以来私たちが直面してきたすべての問題の原因であった。とりわけ、私たちがこの庭園に住めなくなる原因であった。私たちはあまりに多くを知り過ぎたのだ。

好奇心を持たず従順である限り、私たちは重要な宇宙の中心的存在であると自らを慰めることができただろうし、私たちこそが宇宙創成の原因であると自らに語ることもできただろう、と思う。しかし好奇心のままに、探索し、宇宙の本当の姿を学び始めたからには、私たちはエデンの園から出ざるを得なかった。燃える剣を持つ天使が天国の門で見張りに立っていたので、私たちは戻れなかった。エデンの園の住人は追放され、さまよい人となった。時折耳にする、失われた世界を思っての嘆きは、私にはお涙ちょうだい的かつ感傷的に聞こえる。永遠に無知なままで、幸福ではあり得なかったはずである。

この宇宙には計画されてできたように見えるものがたくさんある。それに出合うと、私たちはいつでもほっと安堵の息をつく。私たちはその設計者がいてくれることをいつまでも願いつづける。しかし、そのかわりに繰り返し発見するのは、天体の衝突による選択や遺伝子プールにおける自然淘汰、あるいはポットのなかの沸騰水の対流パターンといったような自然のプロセスが、混沌から秩序を引き出し、私たちをだまして目的のないところに目的を演繹させようとすることである。日々の生活においても、十代の子どもの寝室や政治の場を観察する限り、混沌が自然であり、秩序は上から押しつけられたもののように思える。宇宙には私たちが一般に秩序あると考える単純な状態より、もっととらえがたい規則性がある。ところが、単純であれ複雑であれ、秩序はすべて、不完全な神による遅ればせの介入の結果というよりは、ビッグバンかあるいはもっと早くに確立された自然の法則に由来するように見

える。「神は細部に宿る」とは有名なドイツの学者アビ・ワールブルクの言葉である。しかし生命と宇宙との詳細は、どこまでも洗練されていて正確でありながら、一方で場当たり的・応急的な配列に過ぎず、呆れるばかりの計画性のなさを露呈してもいる。このことをどう判断したらよいのだろうか。建築家が建築初期に見捨てた大建造物とでも？

自然の法則はかたわらに置いても、少なくともこれまでのところ、宇宙に特定の設計者を想定しなければならないような証拠はない。もしかすると、暴かれることを猛烈に忌み嫌って隠れている何ものかが、どこかにいるのかもしれない。かそけき望みではあるが。

したがって、私たちの生命と壊れやすい地球の重要度は、私たちの知恵と勇気によってのみ決定されることになる。私たちは生命が存在する意義の管理人である。私たちは面倒を見てくれ、あやまちを許し、子どもじみた間違いから救ってくれる、いわば親の存在を求めている。しかし知識は無知よりはましである。安心させてくれる神話より、動かしがたい真実を受け入れるほうが、ずっとよい。

もし私たちが宇宙的な目的を望むなら、価値あるゴールを見つけようではないか。

5

コノ星ニ知的生命体アリヤ

ずいぶん長い間、先へ先へと進んだのに、一向に何一つ眼につかなかった。
その挙句、とうとう微かな光に気づいたが、つまりそれが、我々の地球だったと云うわけだ。
……然るに……彼らは我々や御同輩と云ったこの天球の住人たちが、
ここで生存の栄に浴している事実など、知る由もないのであった。

ヴォルテール『ミクロメガス』（一七五二年）から。川口顕弘訳

大都市とその周辺は、いまではほとんど自然を失ってしまっている。車道と歩道、自動車、車庫、広告塔、ガラスや鋼鉄でできた屋外彫刻はあっても、木や草はもちろん、人間を別にすれば動物の姿を認めることはできない。それにひきかえ、人間はたくさんいる。そして、超高層ビルの谷間から真上を見上げたときだけ彼らの目に入る、わずかな星や青空の切れっ端は、人間がそこにやって来るはるか以前にあったものの、かすかな名残だ。大都市のまばゆい光が星々を消し去り、産業技術のために青空さえも時には茶色に染められてしまう。

私たちはそのような場所で毎日働いているのだが、そんな自分自身に感心している場合ではない。私たちは自分たちに都合のいいように、地球をどれほど変えてしまったことか。しかし、数百キロメートルほど上空にのぼり、あるいは地下にもぐれば、もう人間はいない。

生物が住んでいるのは地球の表面のごく薄い膜の部分に過ぎず、時折飛び出していく探査機や、外に漏れるかすかな電波を除けば、宇宙に対して私たちが与える影響はまったくない。私たちは、何者でもないのだ。

あなたが、星間空間の暗闇のなかを長いあいだ旅した末に、ようやっと太陽系にたどりついたエイリアンだと仮定しよう。このありふれた取り柄のない恒星を回る惑星たち、灰色や青、赤、あるいは黄などさまざまな色をした惑星たちを遠くから眺めるあなたの関心は、ここはどのような世界なのか、この辺の環境はすでに変化を失ってしまっているのか、それともいまだに変転極まりないのか、そしてとくに、生命や知的生命が生存しているのかどうか、といったあたりに向かうだろう。地球について、あなたは何の知識も持っていない。たったいまその存在を知ったばかりなのだから。

そこで、あなたは「見よ、されど触れるべからず」という宇宙倫理があることを思い起こすことになるだろう。そう、あなたは、近くを通過し、周回することはできるが、着陸することは厳しく禁じられているのだ。このような制約のもとで、地球の環境がどのようであるのか、生命が存在するのかどうかについて、何らかの判断を下すことができるのだろうか。

近づいて地球を見たときの第一印象は、白い雲、白い極冠、茶色の陸地、そして表面の三分の二を占める青いものの存在だ。放射される赤外線を測ってみると、この天体の温度は、

極冠は氷点下だが、そのほかのほとんどの場所は氷点より温かいことが分かるだろう。水は宇宙にたいへん豊富にある物質である。極冠が固体の水でできており、雲が固体と液体の水でできていることは当然推測できよう。

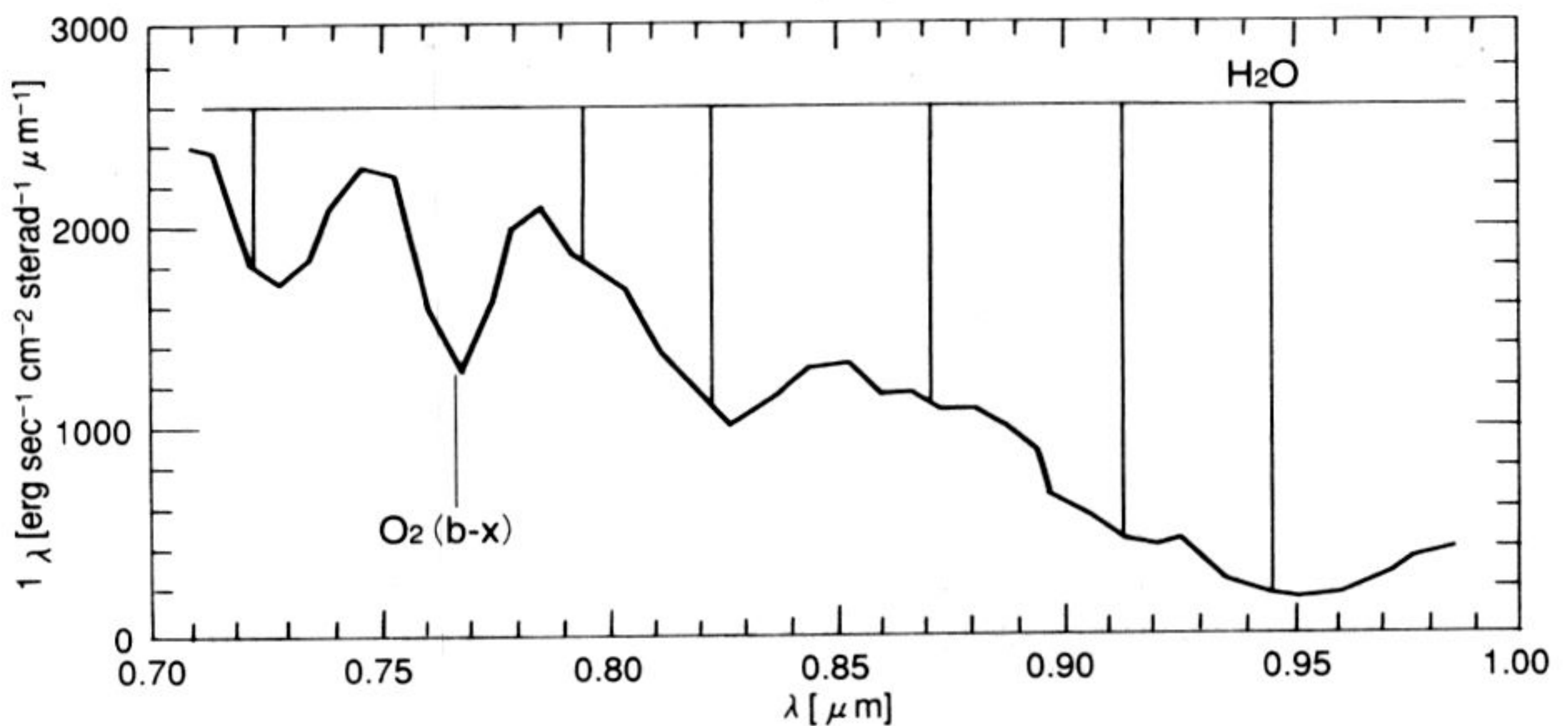
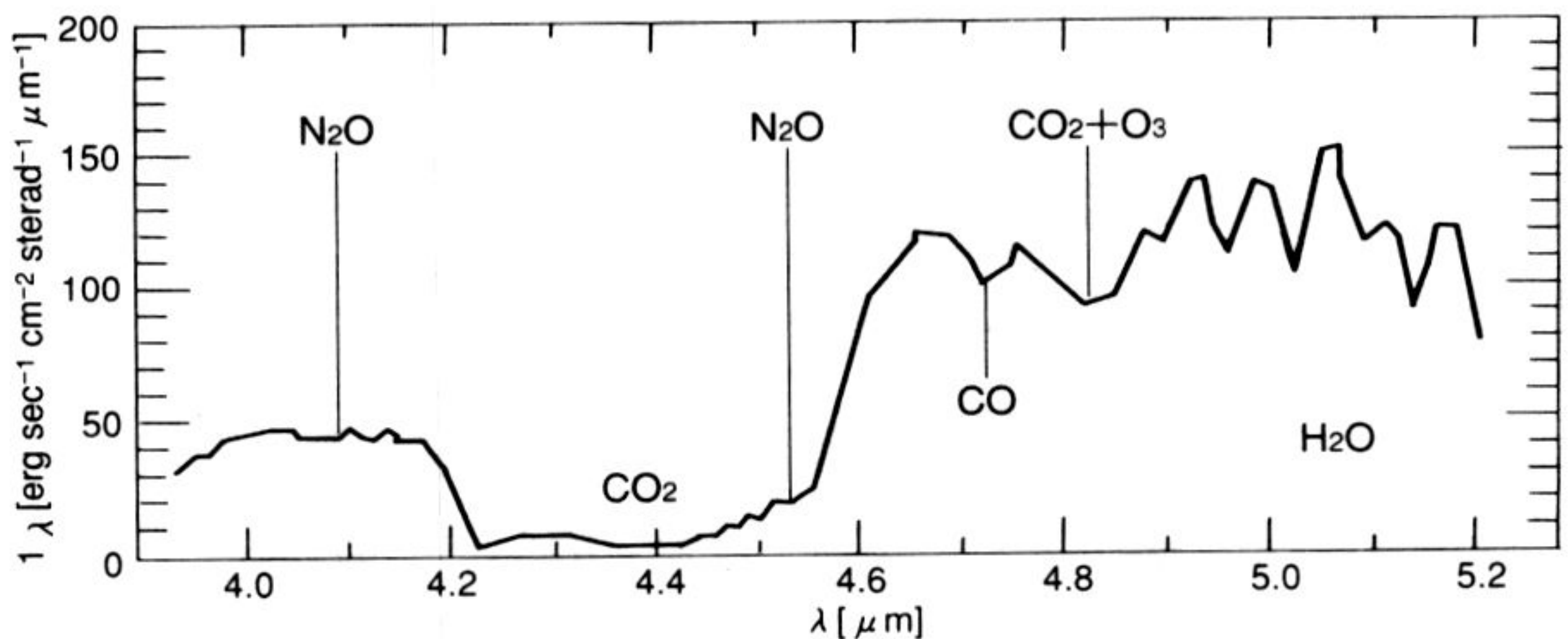
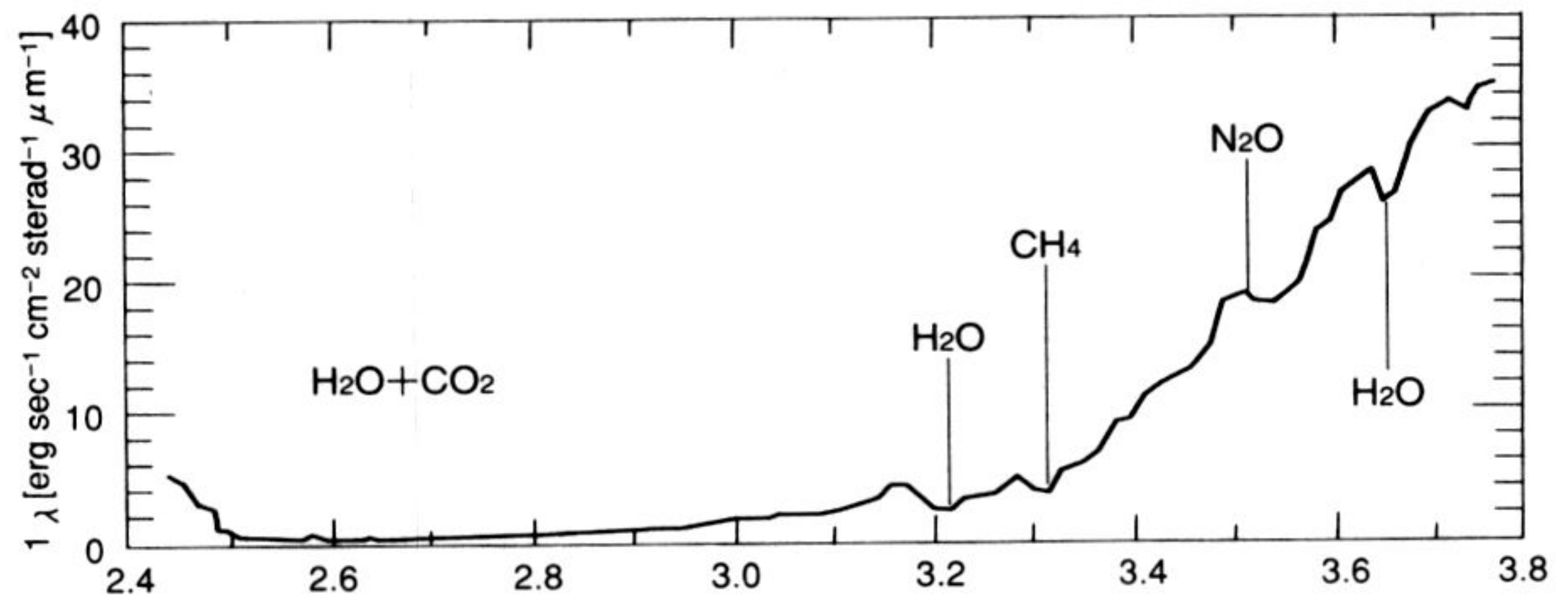
すると、深さ数キロメートルに及ぶ膨大な量の青い物質も液体の水に違いない。しかし、そう考えるのは、この場合おかしい。なぜなら、少なくともこの太陽系に関する限り、表面が液体の水に覆われたところなどほかにはないからだ。可視光線と近赤外線のスペクトルが教えてくれる化学組成によると、間違いなく極冠は氷である。雲が存在することを説明できるだけの水蒸気が大気中にあることも分かる。それは、海が液体の水でできているとしたら、その蒸発によって生ずる量でもある。おかしなはずの仮説が確認されたわけだ。

分光計（スペクトロメーター）はさらに、ここの大気の五分の一は酸素であることも明らかにしている。太陽系の惑星で、これほど大量の酸素を持っているものはない。酸素はどこからやって来たのか。太陽の強い紫外線が水を水素と酸素に分解すると、軽い水素ガスはたちまち宇宙に逃げ出してしまう。これが酸素の供給源ともいえるが、それだけではこの大量の酸素を説明できないはずだ。

もう一つの可能性は、太陽が膨大に吐き出している可視光線が、地球上の水を分解していることである。ただし、生物の関与抜きの方法は、いまのところ知られていない。すると、ここには植物があるに違いない。可視光線を強力に吸収する色素で着色されたこの生物は、

二個の光子（フォトン）のエネルギーを蓄えることで水の分子を分解して酸素を放出し、残った水素を有機分子の合成に使う。植物は地球上に広く分布しているに違いない。しかし、こう考えるのは多くの仮定の結果である。優秀で慎重な科学者なら、これほど大量の酸素は、生物の存在を示唆している可能性が高いとはいえ、そうとは断定できないとも考えるだろう。

酸素だけでなく、大気中にオゾンがあるのに気づいても驚くことはない。紫外線は酸素分子からオゾンをつくるのだから。そして、オゾンは危険な紫外線を吸収する。したがって、もし酸素が生物によってつくられたものなら、その生物は自分の生み出すもので自分自身を保護しているという奇妙なことになる。この場合、生物とは光合成植物に限られるだろう。高度の知的生物ではない。

さらに接近して大陸部を調べると、大別すれば二つの地域があることが分かる。一つは、ほかの多くの天体でも見られるように一般的な岩石や鉱物のスペクトルを示す。もう一方はいくぶん違っていて、広大な面積を占める物質が赤い光を強く吸収している（太陽はもちろん、あらゆる色の光を放っており、なかでも黄色い光を一番多く出す）。この物質こそ、まさに光が水を分解する際に必要なもの、大気中の酸素を説明するものである。生物の存在について、さきほどよりやや強力なもう一つの手がかりが見つかったことになる。そここを飛び交う昆虫は見えなくても、この惑星の表面は生物、それも植物であふれているのだ。光を吸収している物質は葉緑素である。葉緑素は赤色だけでなく青色も吸収し、植物を緑色に

上のグラフ２点は、ガリレオ探査機が観測した地球の赤外線スペクトル。水蒸気、メタン、二酸化炭素、一酸化炭素、亜酸化窒素（一酸化二窒素）の存在を示している。下のグラフは、ガリレオによる地球の可視光線と近赤外線とのスペクトル。水蒸気と大量の酸素分子があることが分かる。

見せる。あなたが見ているのは、植物が濃く生い茂った惑星なのである。
地球は少なくとも、この太陽系のなかでは変わった独特の三つの特性を持っていることが明らかになった。海と酸素と生物である。したがって、この三つは相互に関連していると考えられる。豊富な生物は海で生まれ、大量の酸素を生み出したのだ。
地球からの赤外線スペクトルを注意深く調べるなら、大気中の微量成分の存在も分かる。水蒸気だけでなく二酸化炭素やメタンなどのガスは熱を吸収しており、地球は夜間にその熱を宇宙に放出する。ガスは地球を温める役割も持っている。もし、このようなガスがなければ、地球はいたるところ氷点下にまで冷えているはずだ。あなたは、この天体の温室効果を発見したのだ。
メタンと酸素とがいっしょに大気中にあるのは奇妙なことである。化学の法則は、きわめてはっきりしていて、酸素が多くなれば、メタンは水と二酸化炭素に分解されてしまう。この反応は、地球の大気中に一個のメタン分子も残さないほど効率のよいものである。ところが地球大気の一〇〇万分の一はメタンであり、たいへん矛盾することが起こっている。これは何を意味しているのだろうか。
一番考えられることとは、メタンが酸素との化学反応を待っていられないほど速やかにつぎからつぎへと地球の大気に放出されているということである。では、このメタンはどこから送り出されてくるのだろうか。地球内部の深いところから浸み出して来るのかもしれないが、

量の多さを考慮すれば、そんなことは起こりそうにないし、火星や金星にはこれほど多量のメタンはない。考えられるもう一つの原因は生物学的なものだ。しかし、これは生物界における化学の知識抜きで、単にメタンが酸素の大気のなかではきわめて不安定であるということだけの思いつきである。実はメタンは、沼地に住むバクテリアや、稲が栽培されている水田、草木の燃焼、油井から噴き出す天然ガス、牛の腸内発酵ガスなどさまざまなところから出て来ているのだ。だから、酸素の大気のなかにメタンが存在することは、まさに生物が存在することのしるしなのである。

もし地球はるか上空の惑星間空間から牛の腸の働きが探知できるとしたら、少々困ったことになるだろう。私たちが可愛がっている牛たちはそれほど大量にはいないのだから。だが幸いなことに、地球の周囲を回りつづけるエイリアンの科学者は沼地も稲も、火事や天然ガスや牛も認めることはできないだろう。生物が存在することが分かるだけだ。

これまで述べてきた、生物存在を示すしるしとは、すべて割合簡単なかたちの物質である（食物を反芻する牛の腸のなかのメタンは、その腸に住み着いている細菌がつくりだしたものだ）。もし、あなたの宇宙船が一億年前の、人類も誕生しておらず技術もなかった恐竜時代の地球にやって来たとしたら、やはり酸素とオゾンの存在を知り、葉緑素の描く色彩を認め、はるかに大量のメタンを見つけたことだろう。ところがいま、あなたの測定器は生物だけではなく、高度の技術が存在するしるしも発見する。それらはたぶん、一〇〇年前には見

つけられなかったはずのものだ。

その一つ、地球から発せられる特殊な電波を、あなたは捕らえる。電波そのものが生命や知的生物の存在を意味するとは限らない。多くの現象が電波を発する。あなたはすでに、生物が存在しないことが明らかなほかの天体から発せられる電波を知っているはずだ。たとえば、惑星の強力な磁場に捕らえられた電子が発する電波、惑星の磁場と惑星間空間の磁場がぶつかって生じる衝撃波のなかから生まれる電波、雷の稲妻が発する電波などを（電波は一般に、まず強い電波が出て、ゆるやかに弱くなっていき、それを繰り返すように放射される）。そして、絶え間なく放射される電波もあれば、爆発的な放射を時折反復するもの、数分間続いただけで消えてしまうものなどがある。

しかし、いまあなたが捕らえた電波は違う。地球からの電波の一部はまさしく、電波を反射あるいは吸収する成層圏の上にある電離層から漏れ出てきた電波の周波数に一致する。それらの電波はそれぞれ一定の中心周波数があり、それに変調信号が付け加えられている。磁場の電子も、衝撃波からも、稲妻からも、このような電波は発生しない。これを出せるのは知的生物しかなさそうだ。あなたは、電波は地球の技術が生み出したものであり、変調信号の点滅は何らかの意味を持つものであると結論することになろう。もっとも、まさにメッセージであるその信号を、あなたが解読する必要はない。（おそらく、この信号は米国海軍と遠く離れたところにいる原子力潜水艦との交信だろう。）

こうして、エイリアンであるあなたは、地球上で少なくとも一つの種の生物が電波技術を完成させていることを知ったことになる。それは何者か。その生物がメタンをつくっているのか。酸素を発生させているのも、それなのか。地上を染める緑の光景をつくりだしているのも、それなのだろうか。それとも、別の、もっと精妙な、ほかの方法でないと検知できないような生物なのだろうか。このような技術を持った生物種を探すには、もっともっと解像力の優れた装置で調べたい、そして、その生物そのものではなくても、少なくとも彼らがつくりあげた人工の産物を見たいと、あなたは思うに違いない。

　まず、解像力がせいぜい一キロか二キロメートルの望遠鏡で見るとしよう。記念の建造物や変わった構造物も、地形の人工的な加工も、もちろん生物のしるしも見つけることはできない。濃い大気が動いているのは見える。豊富な水は蒸発し、のちに雨となって地上に降っているに違いない。地球の隣の月にはたくさんある古いクレーターは、まったくといっていいほど見られない。これはたぶん、地球が生まれてから何度も、つぎつぎと起こる地質活動で新たな陸地が生み出され、ついで浸食されたためだろう。流れる水、つまり川は複雑にもつれ合っている。どんどん解像力を上げていくと、この惑星の地質活動がいまも活発であることを示す山脈や渓谷、その他多くの地形が見えてくるだろう。また、植物がないのに周囲を草木に囲まれた奇妙な場所も目につく。それらは、緑のなかに取り残されている汚れたしみのように見える。

解像力が約一〇〇メートルまで上がると、すべてが変わって見えてくる。この惑星のいたるところに直線と枡目と四角形と円形とがあり、時にはそれらは川に沿ってごちゃごちゃとかたまり、あるいは山のゆるやかな斜面に寄り添うように存在している。また時には、それらは平野じゅうに広がっているが、砂漠や高い山々にはほとんど見当たらず、海の上にはまったくなくなる。それらの機能や目的はよく分からないものの、このように規則性があることや複雑なこと、それらの分布の仕方は、生物と知能の存在によるものとしか説明はできないだろう。そして、地球を支配する生物は領土に対する縄張り主義とユークリッド幾何学の両方に熱心なのだと、あなたは結論づけるだろう。この解像度でも、あなたはまだ彼らを見ることはできないし、彼らについてまるで知らない。

緑のなかにあった多くのしみは、碁盤の目のような模様を持っていることが分かった。これらが、この惑星の都市なのだ。都市だけでなく陸地の多くの場所にも、直線や枡目、四角形や円形がある。黒いしみである都市は、ほんのわずかの緑の斑点を持つだけで、きわめて高度な幾何学模様でできており、お互いの都市のあいだには、まだ手をつけられていない境界地があることも明らかになった。たまには三角形もあり、ある都市には五角形も見つかった。

解像力を一メートル以内にまで上げて写真を撮ってみよう。都市のなかで交差する直線と、ほかの都市とつながっている直線とは、長さが数メートルの流線型でさまざまな色をした多

くの物体で埋まっており、それらは長い、のろのろした行列をつくって行儀よく走っていることが分かる。たいへん辛抱強い物体のようだ。一方の流れが止まると、それと直角の流れが動き出す。これが周期的に繰り返される。夜になると、進む方向を見るために、それらの物体は前面に二つの灯をつける。仕事を終えて夜になって引き揚げてきたらしい特別ないくつかは小さな家のなかに入っていく。しかし、ほとんどは家がないらしく、直線の通りで眠る。

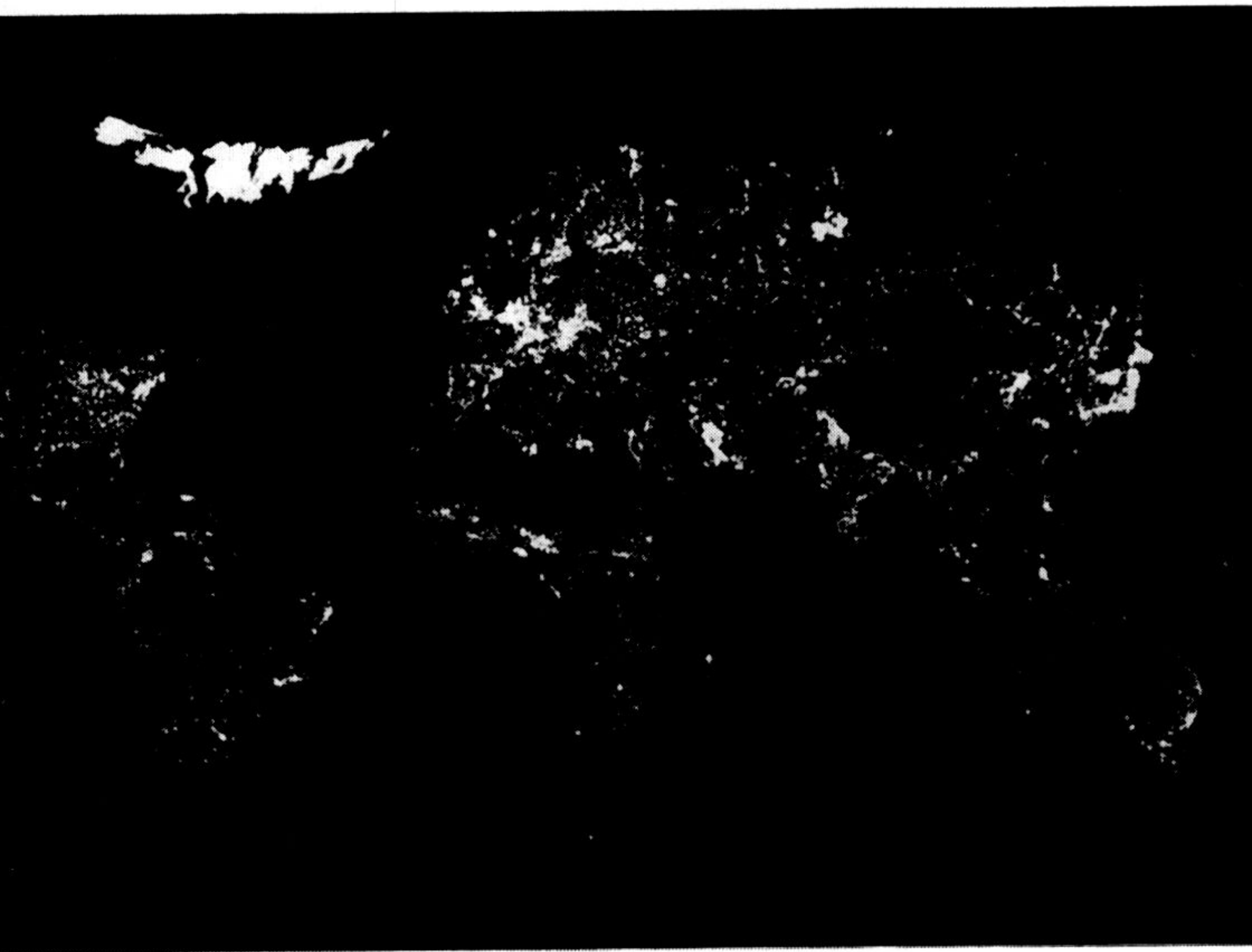
とうとう、この惑星のすべての技術の源である生物体を見つけた！　都市の通りと田舎道はどちらも、彼らの便利さのためにあることは明らかだ。あなたは、地球の生物についてやっと分かってきたと思うに違いない。たぶん、そのとおりだろう。

もし望遠鏡の解像力がもう少しよくなるなら、地球の支配生物から出たり入ったりしている小さな寄生生物が見つかるかもしれない。寄生生物はどうやら重要な役割を果たしているようだ。なぜなら支配生物は寄生生物に感染した直後に動き始め、寄生生物が外に出てしまう直前に動きを止めるからだ。これは謎だ。しかし、地球の生物が簡単に理解できるとは、だれも思っていないはずだ。

これまで、あなたが見てきたものはすべて、太陽の光に照らされたものだった。つまり、地球の昼の側だった。あなたが地球の夜側の写真を撮れば、もっとおもしろいものがあるかもしれない。夜の地球にも光る部分がある。一番明るいのは北極圏を取り巻くところで輝く

オーロラだ。この光は生物がつくったものではなく、太陽から飛んできて地球の磁場に捕らえられた電子と陽子が放つ輝きだ。ほかのすべては生物による光だ。光が縁取っているものが大陸であることが、昼になれば分かるだろう。そして、光の多くが、すでにあなたが知っている都市であることも。都市は海岸線の近くに集中していて、内陸部にはまばらにしかない。おそらく支配生物たちは海水を求めるのに必死なのだろう。あるいは交易や移民のために船で海を渡ることが不可欠だったのかもしれない。

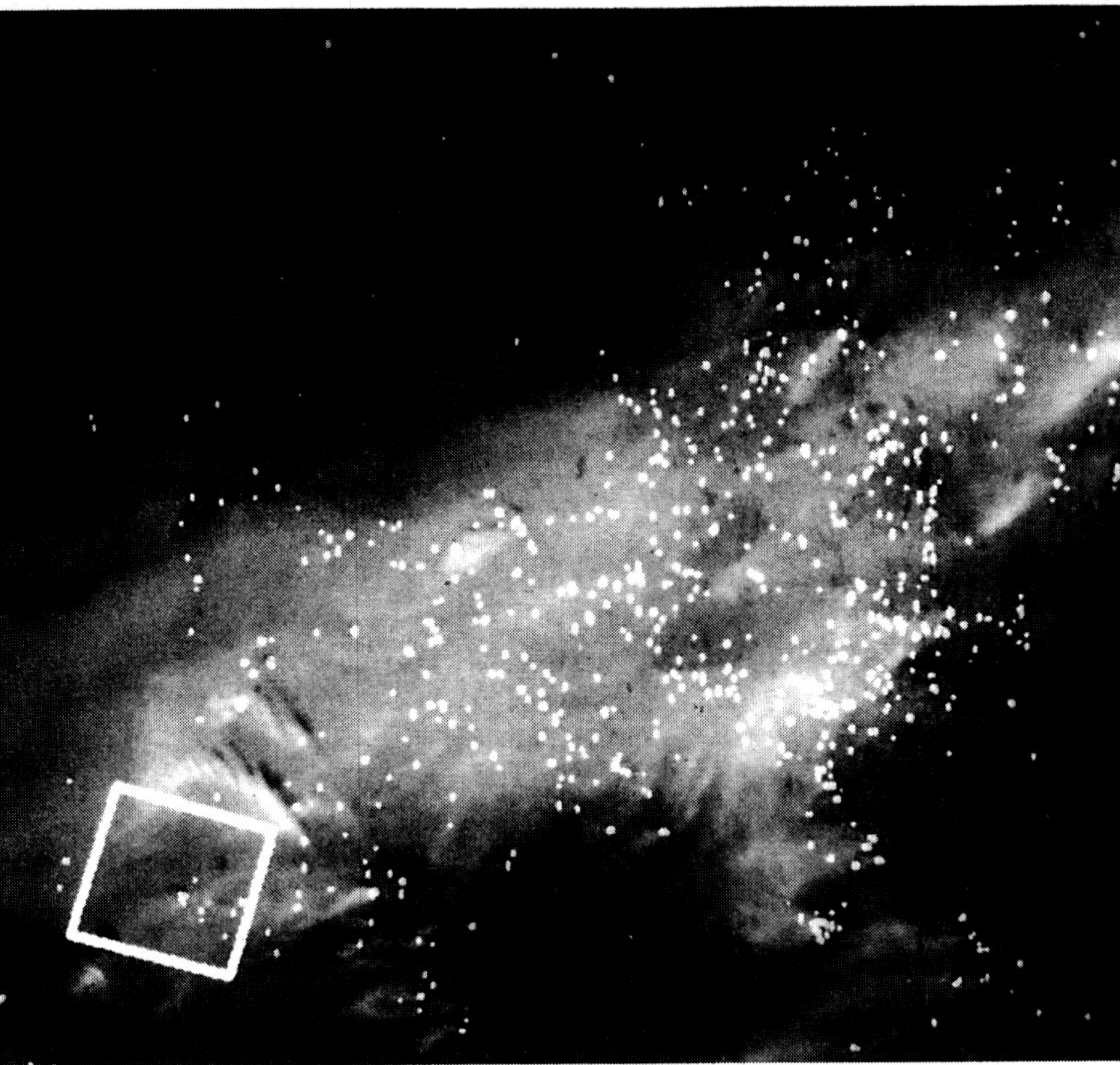
しかし、都市とは関係のない光もある。たとえば北アフリカや中東、シベリアなどでは、かなり荒涼とした場所にたいへん明るい光がある。油井で石油や天然ガスが燃えているからだということが、やがて分かるはずだ。昼間見た日本海には、光が集中している奇妙な三角地帯がある。昼は、そこは海で、都市はない。この光は何だろうか。実は日本のイカ釣り船団がイカを引き寄せるために放つ明るい光なのだ。別の日には、多くの同じような光が太平洋いっぱいにさすらっているはずだ。あなたが見たものは、実は寿司のネタを求めているのだ。

あなたが早々と観測したものは、地球の生物の本質とはいえない（正直なところ、私はこの結果に愕然としている）。反芻動物の胃腸の働きによるものだったり、日本料理の材料を求めるためだったり、二〇〇もの都市を破壊できる兵器を持って移動しつつある潜水艦との交信手段といったものであった。私たちが誇る建造物や偉大な技術的成果やお互いに助け合

軍事用気象衛星が撮影した夜の地球。（ワシントン大学のウッドラフ・サリバン、米国国防総省提供）

うための努力とかいったものは、たくさんあるのに、まったくといっていいほど見ることはできない。これは、なんとも皮肉なことだ。

しかしここまでのところ、あなたの地球探査は十分成功したといえよう。地球の環境についても分かった。生物も見つけた。知的生物が存在することも明らかにした。そして、幾何学模様と直線とから離れられないでいる、支配的な生物種も、すでに確認しているといえそうだ。確かに、この惑星はもっと長期的にもっと詳細に研究するに値する。あなたが宇宙船を地球周回軌道上にとどめておくのは、まさにその理由からだ。

だが、地球を調べることで新たな謎も出てきた。地上のいたるところで煙突が二酸化炭素と有毒な化学物質を大気中に吐き出している。道路を走る支配生物も同じことをしている。ところが、二酸化炭素は温室効果を持っている。これまで見たところ、大気中の二酸化炭素の量は年々着実に増えている。メタンやそのほかの温室効果ガスについても同様なことが起こっている。この状態が続けば、地球の温度は上昇するはずである。分光器（スペクトロスコープ）では、これらとは別の分子であるフロンも大気中に放出されつつあることが発見されている。フロンは温室効果ガスであるばかりか、生物を保護しているオゾン層を破壊するのに強い影響を持っている。

すでに分かっているだろうが、広大な雨林を抱える南アメリカ大陸の中央を、もっとよく見てほしい。夜ごとに数千の火が輝き、昼間は一帯が煙に覆われている。年々、地球のいた

たそがれ時のアマゾンの熱帯雨林。明るい光の点はいずれも山火事。その煙が白い雲のように見える。1994年、CNES（フランス国立宇宙航空センター）による。（SPOTイメージ・コーポレーション提供）

るところで、森がどんどん少なくなり、砂漠がしだいに増えていることが分かるだろう。
大きなマダガスカル島を見下ろしてみよう。川は茶色になっていて、周囲の海を広く汚している。これは、表面の土壌がつぎからつぎへと海に流し出されているためで、もう数十年もすれば表土はなくなってしまうだろう。同じことは、やはり地球のどこの河口でも起こっている。
表土がなくなるということは、農業がなくなることである。一世紀後、知的生物たちは何を食べるのだろうか。何を呼吸するのだろうか。すっかり変わった危険な環境に、彼らはどう対処するのだろうか。
すべてが明らかに悪い方向に向かっていることが、軌道上からでも分かったはずだ。地球の支配生物たちがだれであれ、彼らは、地球の表面に手を加えすぎて厄介な状況にしてしまったのだ。彼らはオゾン層と森林を破壊し、表土を浸食し、地球の気候を変えて修復不能にまでしてしまっている。もしかしたら彼らは何が起こっているのか知らないのではないだろうか。自分たちの運命に気づいているのだろうか。自分たちを支えてくれている自然環境を守るために協力するようなことが、できないのではないだろうか。
地球に本当に知的生物が存在するのかどうか判断するには、もう少し時間が必要だと、あなたは考えるに違いない。

生命を探す試み

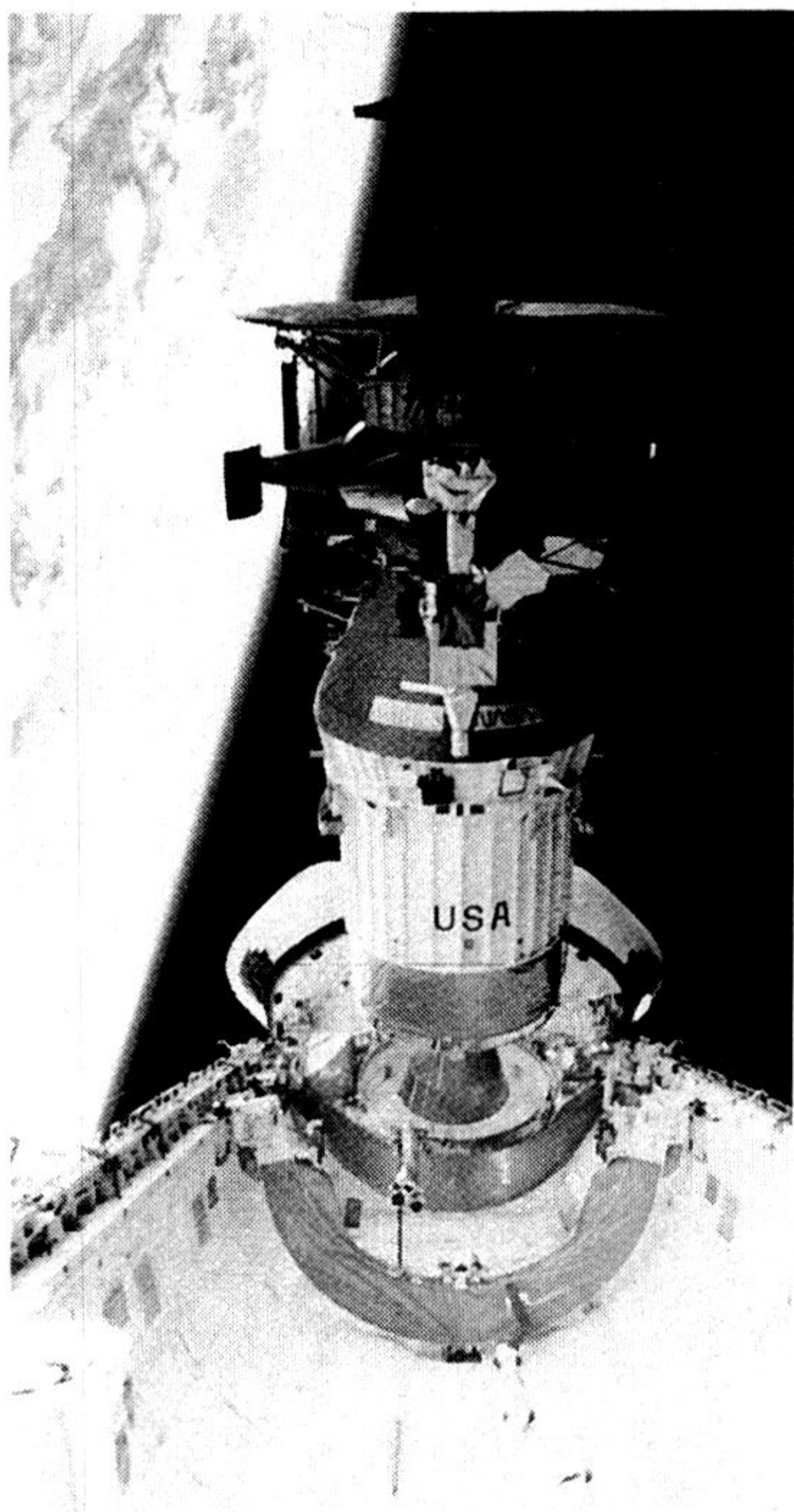
地球から打ち上げられた探査機は、カメラ、熱や電波を測る装置、化学組成を知るための分光計、そのほかの多くの装置を積んで、惑星や衛星、彗星、小惑星など何十もの天体を訪ねている。まだ太陽系では、地球以外に生命が存在するという証拠は見つかっていない。しかし、ほかの天体で生物を、それも私たちが知るものとは異なる生物を検出する能力を、私たちが持っていないわけではない。最近まで私たちは確かな基準となる測定（キャリブレーション・テスト）、つまり地球のそばに最新の惑星間探査機を飛ばして私たち自身の存在を確認できるかどうかという実験をやったことがなかった。だが、一九九〇年一二月八日に事情が変わった。

ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）のガリレオ探査機は、巨大惑星の木星と、それを取り巻く衛星たち、そして木星の環を観測するためにつくられた。地球を中心に宇宙が回っているという天動説をひっくり返すのに重要な役割を果たした、あの高名なイタリアの科学者の名が探査機につけられた。木星を最初に望遠鏡で観測し、四大惑星を発見したのはガリレオだった。ガリレオ探査機は木星に着くまでに、金星に一度、地球に二度接近して、二つの惑星の引力で加速してもらう。さもなければ、この探査機は木星までたどりつく推力がないのだ。このような飛行経路をとるおか

げで、私たちははじめて体系的にエイリアンの目で地球を見ることができるようになった。

ガリレオ探査機は地上わずか九六〇キロメートルのところを通過した。一キロメートル以下の解像力とか夜側の地球像とかいった一部の例外を除けば、この章に書いたデータは実際にガリレオ探査機が得たものだった。ガリレオ探査機によって、酸素や水、雲、海、極の氷、生物、知的生物などについて筋道を立てて話せるようになった。惑星たちを調べることで私たち自身の惑星の環境の健康状態を知ることは、目下、NASAも熱心に取り組んでいる問題だが、そのために開発された装置と観測プログラムを使って、宇宙飛行士サリー・ライドの『惑星地球への飛行』も書かれた。

ガリレオ探査機による地球の生命探知計画を作ったNASAの科学者チームには、私のほかにつぎのような人たち（全員が博士）が加わった。W・ライド・トンプソン（コーネル大学）、ロバート・カールソン（NASA／JPL）、ドナルド・ガーネット（アイオワ大学）、チャールズ・ホード（コロラド大学）。

このガリレオ探査機で、あらかじめ、どのような種類の生物が存在するかという仮定をすることなく、地球生物の存在を確認することに成功した。このことは、ほかの惑星で生物発見に失敗するにしても、その否定的結果はそれなりに意味がある

スペースシャトル・アトランティスの荷台から離れるガリレオ探査機。1989年に打ち上げられ、小惑星帯のガスプラとイーダに接近したのち、木星に向かった。途中、金星と地球の重力で加速してもらった。(JPL/NASA 提供)

ということについて、私たちの確信は強くなった。この判断は人間中心的、あるいは地球中心的で、視野の狭いものだろうか。私は、そうは思わない。私たちは、私たちの生物学しか知らない。広く存在する光合成植物、安定した大気の均衡状態から大きく外れたガスの存在、表面の高度に幾何学的な模様の解釈、夜側の半球における光の分布、天体物理学的には考えられない電波放射、それらのどれもが生物の存在を示しているはずである。もちろん地球では私たちは私たち独自の特徴しか見つけなかったが、他の天体でもそれなりに異なる特徴があったはずである。これまでに、そのような特徴は発見していない。地球の観測は、太陽系のすべての天体のなかで、この地球だけが生物に恵まれた場所であるという私たちの仮説を補強してくれた。

私たちは探索を始めたばかりである。生命は火星や木星、あるいはエウロパ（木星の衛星）やタイタン（土星の衛星）に隠れているかもしれない。銀河系には、私たちのような生物の住む天体がたくさんあるのかもしれない。しかし、これまでに得られた知識からみれば、現在のところ、地球は唯一の天体である。微生物が住むようなほかの天体はもちろん、ましてや技術文明を持つ天体など、まだ知られていないのである。

6

ボイジャーの勝利

彼らは、海に船を出し、大海を渡って商う者となった。
彼らは深い淵で主の御業を、驚くべき御業を見た。
『旧約聖書』詩編一〇七（紀元前一五〇年ころ）から。新共同訳

私たちは、子どもたちの前に将来をかたちづくる見取り図を描いてみせるが、では、私たちが心に抱いている未来像はどのようなものなのだろうか。それは、往々にして、現実になっていたりする。なぜなら、夢こそは未来への道案内だから。

しかし、私は、考え得るもっとも悲惨な未来を描き出すことも、決して無責任な行為ではないと思う。悲惨な未来があり得ることを覚悟することも、それを避けるための一つの方法だ。それに、どこにそれ以外の選択肢があるのだろう。どこに、私たちに刺激を与え鼓舞してくれるような夢があるのか。私たちは、誇りをもって子どもたちに示せるような、現実的な地図を求めている。どこに、人類がどこへ向かえばよいのかを示す地図をつくってくれる人がいるというのか。希望に満ちた将来の見取り図、私たちの頭に突きつけられた銃として

ではなく、人を幸福にする手段としての技術の未来図はどこにあるのか。

ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）は、その日常の仕事を通じて、そうした見取り図を提供する組織である。しかし、衆目の一致するところ、一九八〇年代から九〇年代初めにかけての米国の宇宙計画は悲劇の連続でしかなかった。七人の勇敢な米国人が事故死した。その飛行の目的はといえば、もっと安い費用で、しかも人命を危険にさらさずに打ち上げられるはずの通信衛星を宇宙に運ぶことだった。一〇億ドルの望遠鏡は重症の近視だったし、木星をめざす探査機は、地球にデータを送るのに欠かせないアンテナが開かなかった。火星に送られた探査機は、火星を回る軌道に入ろうとしたところで行方不明になった。地球の周囲をぐるぐる回るだけでどこへ行くわけでもない小さなカプセルに、数人の宇宙飛行士を乗せて、三〇〇キロメートルほど上空に打ち上げる。ＮＡＳＡが「宇宙開発」と表現したのは、たったそれだけのことでしかなかった。それを耳にするたびに、大方の米国人はうんざりしたものだった。ロボットによる探査の輝かしい成果に比べれば、有人飛行から重要な科学的発見がもたらされることは驚くほど少なかった。製造ミスがあったり故障を起こしたりした人工衛星を修理したり、人工衛星を軌道に送り込んだ（無人でも同じことができる）のを除けば、一九七〇年代以降の有人飛行は、まず費用に見合うだけの成果を上げることができなかったように見える。ＮＡＳＡを宇宙に兵器を配置するという気宇壮大な計画の隠れ蓑だと見る人もいた。現実問題として、軌道上の兵器など、多くの場合、狙われやすい標的でしかないのだ

が。そして、NASA自身、老化し、動脈硬化を起こし、小心で冒険をしたがらない悪しき官僚主義の症状を呈していた。しかし、この傾向はおそらく、いま、変わり始めている。

批判の多くは、確かに的を射ている。しかし、だからといって、同じ時期にNASAが達成した成果に目をつぶってはならない。天王星と海王星のはじめての探査、ハッブル宇宙望遠鏡の軌道上での修理、銀河の存在がビッグバンと矛盾しないという証拠の発見、小惑星の初の至近距離からの観測、金星の極から極までの地図の作製、オゾン層破壊の監視、近くの銀河の中心に太陽の一〇億倍もの質量を持つブラックホールが存在することの実証、そして、米国とロシアによる歴史的な宇宙協力も忘れてはなるまい。

他方面に多大な影響を与え、しっかりした将来像に支えられ、そして、革命的ともいえる宇宙計画の意味を、それらから読み取ることができる。通信衛星は、地球全体を結び、地球経済の中心的役割を果たし、さらには、テレビを通して、私たちは地球という一つの共同体の住人なのだという基本的な事実を毎日伝えつづけている。気象衛星は、天気を予報し、ハリケーンやトルネードから人命を守り、また、不作による、年に何十億ドルもの損失を防いでもいる。軍事偵察衛星と条約検証衛星は、国家や地球文明の安定に寄与している。つまり、何万という核兵器が集積された世界で、そこここにいる短気な人や被害妄想にとりつかれた人たちの気持ちを落ち着かせてくれる。このような衛星は、多くの問題を抱え、これから何が起きるか予測不可能な地球という惑星が生存していくために、欠かせない手段となってい

るのだ。

地球観測衛星、とりわけ近く登場する新世代の衛星は、温室効果や表土の流失、オゾン層の破壊、海流、酸性雨、洪水や旱魃の影響、そして、まだ分かっていない新たな危険も含めて、地球環境の健康状態を監視する。地球の健康診断の役割を担っているのだ。

全地球的測位システム（GPS）はすでに配置され、私たちの現在地を、数個の人工衛星による電波三角測量によって知ることができる。最新の短波ラジオほどの大きさの装置があれば、私たちがいる場所の緯度経度は、かなりの正確さで分かる。墜落した飛行機や、霧にまかれたり浅瀬に乗り上げた船舶、そして、不案内な都市で車を走らせるドライバーも、もう、二度と道を誤ることはない。

地球軌道から観測する天文衛星は、近くの恒星の周りに惑星が存在する可能性があるか否かといったことから、宇宙の起源と運命に至るまで、さまざまな謎を解くために、これ以上ないほどの精度で観測を行なっている。惑星に近づく探査機は、私たちの太陽系に並んだ息を飲むような別世界を観測し、それらの運命と地球の運命とを比べる。

こうした活動はいずれも、前向きで希望にあふれ、刺激的で、投下された費用に値するだけの成果が上がっている。しかも、有人飛行は必要としない。ＮＡＳＡの将来にかかわり、かつ、この本でも述べられているもっとも重要な問題は、有人飛行についていわれているような意義が果たして、筋道が通っているのか、支持し得るものかどうか、という点だ。本当

に費用に値するのか。

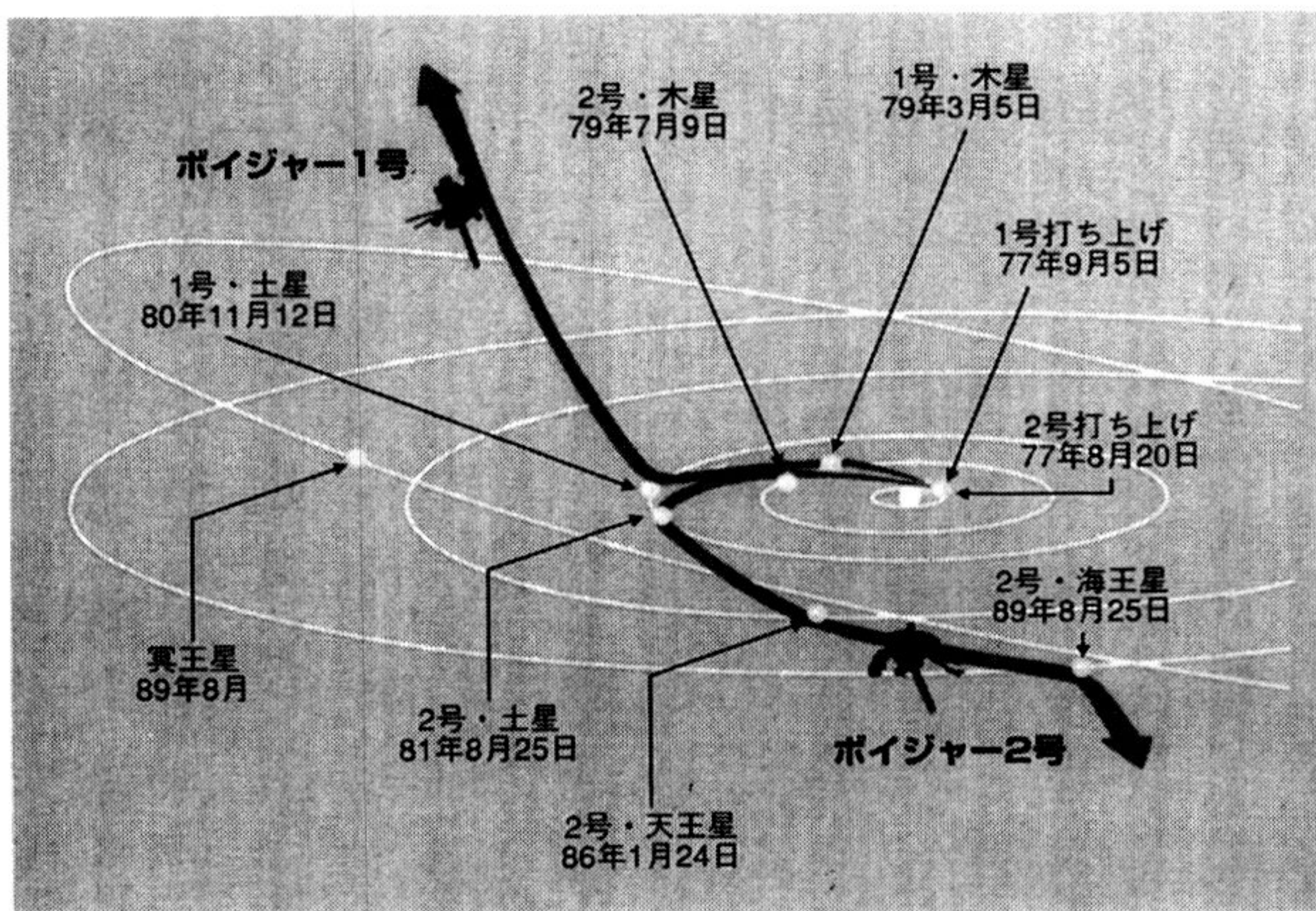
しかし、まず最初に、惑星間を飛行したロボット探査機によってすでに成功が保証されている、未来の有望な計画を検討してみよう。

ボイジャー1号と2号は、太陽系を人類に開き、未来の世代のために道をつけた探査機である。この二機が一九七七年八月（2号）と九月（1号）に打ち上げられる以前、私たちは、太陽系の惑星の多くについては、ほとんど何も知らないといってよかった。それから一〇年あまりのあいだに、多くの天体についてのはじめての詳細で精密な情報がもたらされた。それらのうちのあるものは、地上の望遠鏡に映ったぼんやりした円盤として、あるいは単なる光の点としてしか知られていなかったし、またあるものは、その存在すら疑わしかった。そして、二つの探査機はいまも、データを送りつづけている。

二機のボイジャーは私たちに、ほかの天体の不思議、私たちの天体の特殊性と脆弱さ、そして、始まりと終わりについて教えてくれた。また、太陽系の大部分への、その広がりと量の両面において、手がかりを与えてくれた。ボイジャーは、私たちのはるか遠い子孫の故郷になるかもしれないところを、はじめて探査した探査機なのである。

当時の米国の打ち上げ技術では、二、三年という限られた時間内に、ロケットの推進力だけで探査機を木星やそれより遠くに送り込むことはできなかった。しかし、人類の知恵はそ

れに代わる手段を見つけだした。それに加えて幸運だった。つまり、それから数年後に打ち上げられたガリレオ探査機もそうしたように、惑星に接近し、その重力を利用してつぎの惑星へと放り出してもらうのだ。重力による加速である。必要なのは工夫だけだった。これは、動いているメリーゴーラウンドの柱をつかんで飛び出すようなものだ。つかんでいる私たちのスピードは上がり、手を離せば別の新しい方向へと飛んでいくことができる。理論的には、探査機が加速されるかわりに、太陽を回る惑星は減速されるわけだが、現実には、惑星は探査機よりはるかに大きいため、まずまったくといっていいほど速度に影響はない。ボイジャーはそれぞれ、木星の重力によって、時速六万キロメートルほどの速度を得た。その分、木星の太陽の周りを回る速度が落ちたことは確かだが、では、それはどれほどなのだろうか。いまから五〇億年ほどあと、太陽が赤色巨星に膨れ上がるころ、二〇世紀後半にボイジャーが飛んでこなかった場合に比べて、木星は一ミリメートルほど後ろにいるはずだ。

ボイジャー2号は、惑星がほぼ一列に並ぶというきわめてまれな配置をうまく利用した。木星に接近して土星へと加速、そして、土星から天王星、天王星から海王星、海王星からほかの恒星へと飛んだのだ。しかし、いつでもこんなことができるわけではない。この、まるで天のビリヤードのようなことができた、前回のチャンスといえば、一九世紀初頭、トマス・ジェファーソンが大統領だった時代まで遡らなければならない。そのころの探検手段は、馬やカヌー、あるいは帆船だった。（蒸気船は、まさに生まれつつある新技術だった。）

ボイジャー1号、2号の飛行経路

資金が十分になかったため、NASA／ジェット推進研究所（JPL）は、きちんと機能を果たせる保証があるのは土星まで、という探査機しかつくることができなかった。それより先については、まず見込みはなかった。しかしながら、工学的設計の素晴らしさに加えて、探査機の機能が損なわれていくよりも先に、無線で探査機に指示を送るJPLの技術が巧妙になっていったという事実によって、二機の探査機は、天王星と海王星まで探査することができたのである。そして、いまもなお、太陽系で知られているもっとも外側の惑星のさらに外から、新たな発見を送信してきている。

私たちは、成果をもたらした船やその船をつくった大工よりも、その成果そのもののほうに、はるかによく耳を傾ける傾向がある。これまでも、ずっとそうだった。クリストファー・コロンブスの探検を熱っぽく語る歴史書でも、ニーニャ号、ピンタ号、サンタ・マリア号をつくった人たちや、このころの帆船の仕組みについてはほとんどふれていない。ボイジャーとその設計者、製作者、ナビゲーター、管制官たちは、科学技術がきちんとした平和目的のために使われれば、いかに素晴らしい成果を上げ得るのか、その格好の例だといえる。こうした科学者や技術者は、卓越した先駆性や国際的な競争力をめざす米国の模範となるべき存在であり、切手の絵柄になっても何ら不思議はない。

木星、土星、天王星、海王星の四つの巨大惑星について、二つのボイジャーのいずれか、または両方が、惑星本体と環、および衛星を調べた。一九七九年、木星では、人の致死量の

一〇〇〇倍もの強さの荷電粒子をものともせず、この太陽系最大の惑星にも環があること、衛星に火山が存在すること（地球外で確認されたのは、はじめて）、また、空気のない天体の地下に海のある可能性などを明らかにした。ここにあげたのは、数多くの驚くべき発見のごく一部にすぎない。一九八〇年と八一年、土星では、氷の嵐を生き延びて、少なからぬ、実際には数千という新しい環を発見した。不思議なことにごく近い過去に溶けた形跡のある氷の衛星や、有機物の雲に覆われた下におそらくは液体炭化水素の海のある天体もくわしく調べた。

一九八六年一月二五日、ボイジャー2号は天王星に接近し、つぎつぎに驚くべき報告を送ってきた。接近していた時間はわずか二時間にすぎなかったが、地球まで忠実に中継されてきたデータは、アクアマリン色をした惑星、一五の衛星、真っ黒な環、高エネルギー荷電粒子が閉じ込められた帯など、この惑星に関する私たちの知識をまさに革命的に変えてしまった。つづいて八九年八月二五日、ボイジャー2号は、海王星のそばをかすめ、はるかかなたにある太陽からのかすかな光のなかで、万華鏡のような雲の模様や、細かい有機粒子がきわめて薄い大気によって羽毛のように吹き散らされている奇妙な衛星を観測した。そして、二つのボイジャーは九二年、もっとも外側の惑星の軌道をも越え、太陽風が恒星風にとってかわられる場所、ヘリオポーズから出ていると思われる電波をとらえたのだった。

私たちは地球に縛りつけられているから、ものをゆがめてしまう大気の海を通してしか、

遠くの天体を見られない。遠くの天体が発する紫外線や赤外線、電波は、地球の大気を通り抜けることができない。だから、探査機がなぜ、私たちの太陽系に関する知識を革命的に変えることができたのかという理由は簡単だ。宇宙の真空のなかに出て、透明度が飛躍的に上がったところで、目的の天体に近づく。そして、ボイジャーのように近くを通り過ぎたり、あるいは周囲を回ったり、その表面に着陸したからである。

こうした探査機が地球に送ってきた情報は四兆ビット、実に百科事典一〇万冊に相当する量だ。ボイジャー1号と2号の木星への接近については、すでに『ＣＯＳＭＯＳ』（朝日文庫）に書いた。ここでは、土星、天王星、海王星への接近について、少しふれてみたいと思う。

ボイジャー2号を、天王星の衛星のあいだをまさに縫うようにして抜ける飛行経路に正確に乗せるため、天王星に接近する直前に、探査機の推進システムに短時間点火して最終的な軌道修正を行なうことが計画されていた。しかし、それは必要ないことが分かった。ボイジャー2号は、すでに五〇億キロメートルもの弓状の行程を飛んできたにもかかわらず、予定された経路から二〇〇キロメートル以内のところにいたのだ。これはおおざっぱにいって、五〇キロメートル先にある針の穴にピンを通すようなもの、あるいは、ワシントンからライフルを発射してテキサス州ダラスに置いた標的の中心に命中させるようなものだ。

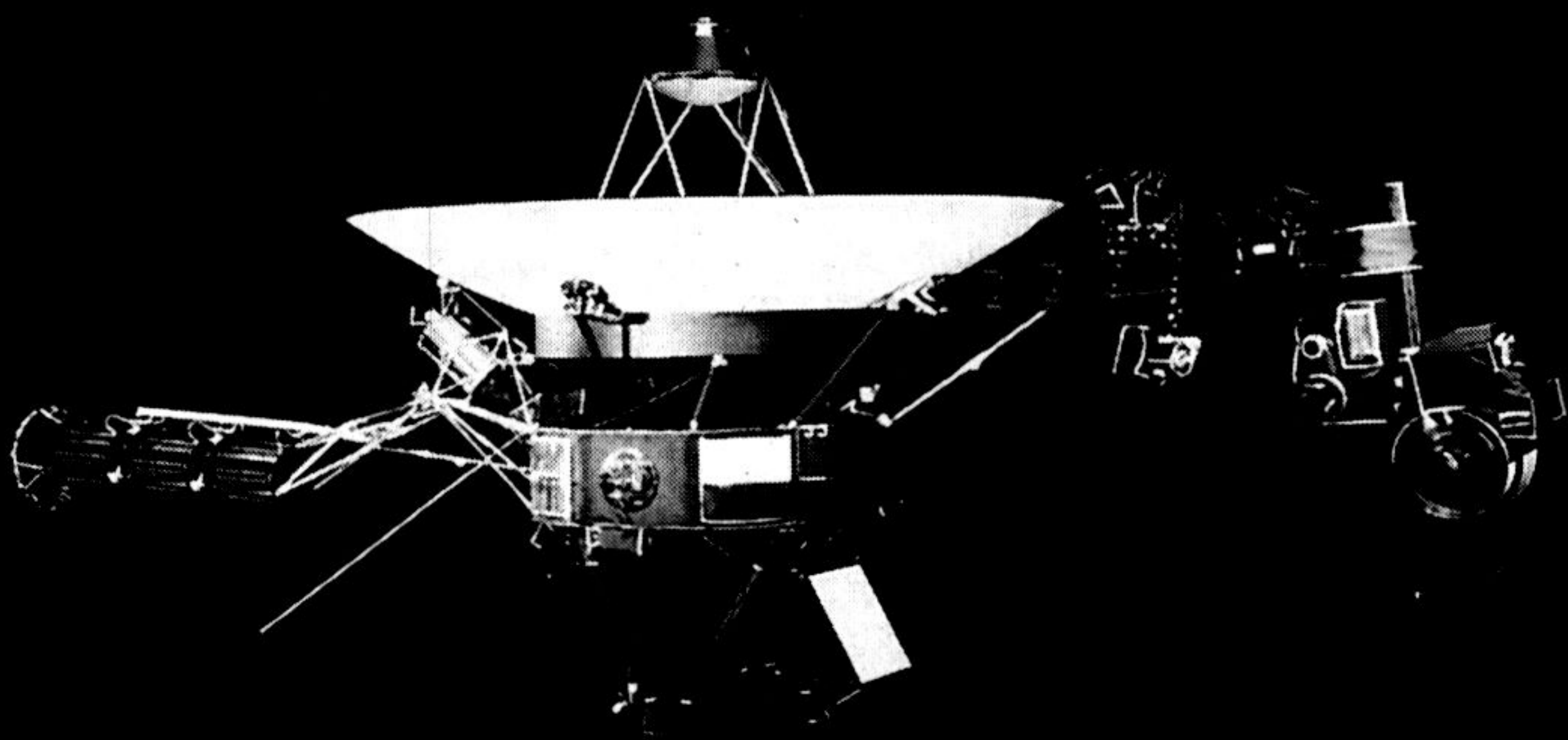
惑星という宝庫に関する情報は電波で地球に送り返された。しかし、地球はあまりに遠いため、海王星からの信号が地球上の電波望遠鏡で集められるときには、わずかに一〇のマイナス一六乗ワット（小数点と1の間にゼロが一五個）しかなかった。この微弱な信号とふつうの読書灯とを比べると、その比率は、原子の直径と地球から月までの距離との比に等しい。いってみれば、アメーバの足音を聞くようなものだ。

ボイジャーの飛行は、一九六〇年代後半に計画された。七二年に最初の予算がついたが、天王星や海王星への接近を含む最終的な計画が承認されたのは、木星の探査が終わってからのことだ。二機の探査機は、タイタン・セントールという使い捨てロケットの組み合わせを使って打ち上げられた。ボイジャーの重さは約一トン、小さな家ほどの大きさだ。放射性のプルトニウムを使った原子力電池から得る電力は約四〇〇ワット、平均的な米国の家庭で使われる電力よりずっと少ない。この電力を、太陽電池に頼るとしたら、太陽から遠ざかるにつれて、得られる電力は急激に減っていったに違いない。もし原子力を使っていなかったら、ボイジャーは、木星からはかろうじてデータを送れるだろうが、それより遠い外惑星からのデータはまったく送れなかったはずだ。

探査機内部を流れる電流は、惑星間の磁場を測る高感度の測定装置を台なしにしてしまうほどの磁場を発生させる恐れがあった。このため、磁力計は長い腕（ブーム）の先につけて、電流から十分遠ざけるようにした。こうした突起物はほかにもあり、結果的にボイジャーは、

ヤマアラシのような格好になってしまった。カメラ、赤外線および紫外線の分光計（スペクトロメーター）、それに偏光計と呼ばれる装置は、指令によって回転する走査台の上に置かれ、目的の天体に向けられるようになっていた。アンテナを地球の方向にきちんと向け、データを受け取ってもらうために、ボイジャーには地球の位置が分かるようになっていた。また、そばを通り過ぎる天体の方向に機体がきちんと向くように姿勢を三次元的に制御するためには、太陽と、少なくとも一つの明るい恒星の位置も知る必要があった。もし、カメラを目的の方向に向けられないなら、何十億キロメートルものかなたに画像を送れたとしても、何の意味もないからだ。

ボイジャー一機の値段は、ほぼ戦略爆撃機一機に相当する。しかし、戦略爆撃機と違って、ボイジャーはいったん打ち上げられたら、格納庫に戻ってきて修理する、などということはできない。そこで、ボイジャーのコンピュータや電子機器は、万一故障してもほかのものが代替可能な冗長設計がなされていた。電波の受信機を含む主要な機械の多くは、少なくとも一つのバックアップを持ち、その必要が生じたときに備えて待機させるようにした。もし、ボイジャーに問題が起こったときには、コンピュータは不測の事態に備えたツリー・ロジックを使って適切な処置をとることになっていた。もし、それがうまくいかない場合は、電波で地球に助けを求めることになる。

探査機が地球から遠くなるにつれ、電波の往復にかかる時間も長くなった。海王星の距離

ボイジャー探査機。カメラと分光計の乗った走査台は一番左。粒子や電磁場の検出器は、ほかの複数の腕の上に乗っている。上部にある白い皿状のものが、データを地球に送ったり、地球からの命令を受け取るアンテナ。コンピュータ、テープレコーダー、熱制御装置などは、真ん中にある八角形の構造体中にあり、構造体の表面には、「宇宙人へのメッセージ」を入れたレコードがある。(JPL/NASA提供)

まで来ると、実に一一時間近くかかる。そこで、緊急の際に地球からの指示を待つあいだ、ボイジャーは安全なスタンバイ状態に自らを置く方法も知らなければならない。時間がたつにつれ、機械部品やコンピュータシステム両方で故障が増えることも予想される。もっとも、いままでも、いわばロボットのアルツハイマー病ともいえるメモリーの深刻な劣化は起きていないが。

だからといって、ボイジャーは完璧だったというわけではない。深刻な、背筋が寒くなるような災難はあった。そのたびに、特別チームが編成され、解決に当たった。チームに参加した技術者のなかには、最初からボイジャー計画に携わっている人もいた。彼らは、基本的な科学的事実を調べ直し、サブシステムが故障した過去の経験に学ぼうとした。打ち上げられずに地上に残された、もう一つのボイジャーを使って実験したり、故障したのと同じ部品を大量につくって、故障について統計的なデータを得ることもした。

ボイジャー2号の打ち上げから八カ月たった一九七八年四月、小惑星帯に近づきつつあったころ、人的ミスによって地上からの信号の一つが届かず、搭載コンピュータが、受信機をメインからバックアップに切り替えるという事態が起きた。バックアップの受信機は、つぎに送られた地球からの信号を拒絶した。追跡ループコンデンサと呼ばれる部品が故障したのだった。その後七日間、ボイジャー2号とはまったく連絡がとれなかった。そして、障害保護ソフトが突然、バックアップ受信機のスイッチを切り、主受信機を復帰させた。ところが、

不思議なことに、しばらくして今度は主受信機が故障してしまったのだ。なぜなのか、今日に至るまで分かっていない。再び、ボイジャーは地球からの指令を聞くことができなくなってしまった。悪いことに、ボイジャーのコンピュータは愚かにも、故障した主受信機を何が何でも使おうとしていた。人とロボットのエラーの不幸な連鎖によって、ボイジャーは、正真正銘の危機に瀕していた。ボイジャー2号に、バックアップ受信機に切り替えさせる方法を、だれも思いつかなかった。それに、たとえ思いついたとしても、実際には、バックアップの受信機は、コンデンサの故障のために地球からの送信は受け取れなかったのだ。多くのプロジェクト関係者が、「万事休す」と思った。

ところが、頑固に地球からの命令を拒絶しつづけて一週間後、ボイジャーは受信機を自動的に切り替えさせる命令を受け付け、その命令は、機上の気まぐれなコンピュータにプログラムされた。同じ週、JPLの技術者たちは、故障したバックアップ受信機でも重要な命令を理解できるよう、命令を送る周波数を制御する独創的な方法を考案した。

技術者たちは、不十分ながら、探査機と再び交信できるようになった。不幸なことに、バックアップ受信機は不安定になり、船内のさまざまな部品のパワーを上げたり下げたりするときに出る熱に対して非常に敏感に反応するようになっていた。その後数カ月間、JPLの技術者たちは、探査機がどういう状態のときにどれだけ熱を発するのか、それを解明するための実験方法を考え出し、実際にテストを行なった。どんな状態のときに地球からの命令を

受け付けないのか、どんなときは大丈夫なのか。
この情報によって、バックアップ受信機の問題はすっかり解決した。その結果、ボイジャーは、木星、土星、天王星、海王星でのデータの集め方について、地球から送られた命令を受け取った。技術者たちは、ボイジャー計画を救ったのだ。安全を期すため、ボイジャー2号の残りの飛行では、ボイジャーが再び地球からの指令に対して耳を閉ざしてしまった場合に備えて、つぎに接近する惑星でのデータ取得の手順については、常に機上のコンピュータに準備しておくようにした。
心臓が絞めつけられるような別の事故が、一九八一年八月、ボイジャー2号が土星の陰から現われたときに起こった。ごく短時間の最接近のさなか、走査台は、環や衛星、そして土星本体のあいだであっちを向いたりこっちを向いたり、忙しく動いていた。その走査台が突然、動かなくなってしまったのだ。気が狂いそうになるほどの苦境だった。探査機は、かつて見たこともない、そして今後数年、いや何十年、再び見ることはないであろう驚異のなかをいままさに飛んでいるのだ。それなのに、探査機は、虚空を見つめたまま、すべてを無視してしまうのだから。
走査台は、歯車が連なった作動装置によって動かされる。そこで、JPLの技術者はまず、現物とまったく同じ作動装置を、模擬飛行状態で試した。地上の作動装置は、三四八回動かしたあとで故障した。ボイジャーに積まれた作動装置は三五二回で故障していた。つまりは、

潤滑の問題だった。原因が分かったのはよいが、でもいったいどうすればよいのか。どう考えても、ボイジャーに油差しを届けるなんて、できるはずがないのだから。

技術者たちは、加熱と冷却を繰り返すことによって、故障した作動装置を再び動かすことができるのではないかと考えた。膨張したり収縮したりする度合いは、作動装置を構成する部品ごとに少しずつ異なるはずで、その結果、ひっかかった部分が動くようになるのではないか、というわけだ。彼らは、特別につくられた作動装置を使い、実験室で試験してみた。そして、何と嬉しいことに、宇宙でも同じようにして、走査台を動かせることが分かった。技術者たちは同時に、ほかにも作動装置が故障しそうになったら、早めに手を打てるよう、その前兆を見つけ出す方法も考案した。以後、ボイジャー2号の走査台は、完璧に機能した。天王星や海王星で写真が撮れたのは、この一連の作業のおかげだ。技術者たちは、再び、ボイジャー計画を救ったのだった。

ボイジャー1号と2号は、木星と土星のみを探査する目的で設計されていた。確かに、その飛行経路は、天王星と海王星のそばを通り過ぎるようにはなっていた。しかし、この二つの惑星はいずれも、ボイジャー計画の対象としては、まったく考えられてはこなかった。探査機がそんなに長くもつとは考えられなかったのだ。ボイジャー1号は、タイタンという謎に包まれた衛星を間近で見るため、もう別の惑星には出合うことのない飛行経路で、土星を通過することになった。だから、天王星と海王星に接近して大きな成果を上げたのは、ボイ

ジャー2号のほうである。これだけ遠くに行ってしまうと、太陽光線は格段にかすかなものになるし、地球に送られてくる信号も格段に弱くなる。こうなることは十分予想できたから、JPLの技術者や科学者にとっては、解決すべき非常に重要な問題だった。

天王星や海王星のあたりでは、光の量がきわめて少なくなるため、ボイジャーのテレビカメラの露出時間はそれだけ長くなる。しかし、探査機は、たとえば海王星では時速五万六〇〇〇キロメートルと、高速で通過してゆくため、画像がぶれてしまう恐れがある。これを避けるには、露出しているあいだ、この速度を相殺するように、探査機全体を動かしてやる必要があった。ちょうど、走っている車のなかから街頭の様子を撮影するときに、カメラを進行方向と逆方向に動かしてやるのと同じだ。簡単そうに聞こえるかもしれないが、決して楽なことではない。ごくごくささいな動きまで、打ち消さなければならないからだ。無重量状態では、機上のテープレコーダーを動かしたり止めたりするだけでも、機体が揺れ、画像がぶれる可能性があるのだ。

この問題は、スラスターと呼ばれる小さなロケットエンジンに指令を送ることで解決した。スラスターはきわめて鋭敏な機械で、データの取り始めと取り終わりにごくわずかなガスを噴射させることにより、機体全体をわずかに動かしてテープレコーダーの揺れを帳消しにした。地球に届く信号がかすかであるという問題については、技術者は、データの記録と送信をさらに効率的に行なう新しい方法を考え出し、地上の電波望遠鏡のいくつかを電子的に結

合させて、感度を上げることにした。結局、ボイジャーの画像システムは、多くの点で、天王星や海王星でのほうが、土星、あるいは、ひょっとすると木星のときよりもうまく機能したのだった。

ボイジャーはまだ、探査を終えてしまったわけではない。もちろん、重要なサブシステムが明日にも故障してしまうかもしれない。しかし、電源であるプルトニウムの放射性崩壊に関する限り、ボイジャーは二機とも、二〇一五年ころまでは、地球にデータを送ってこられるはずだ。

ボイジャーは、部分的にはロボット、また別の部分では人間ともいえる、知的存在だ。それは、人間の感覚をはるかかなたの天体にまで広げてくれる。単純な仕事や短期的な問題は、自分自身で解決するが、より複雑な仕事や長期的な問題は、ＪＰＬの技術者集団の知恵と経験とに頼ることになる。人と機械の関係におけるこのような傾向は、今後一層加速されるに違いない。ボイジャーは一九七〇年代初めの技術水準を表わしている。もし今日、同様の計画を立てたら、探査機の設計には、人工知能、小型化、データ処理速度、自己診断・修理能力、経験からの学習能力といった分野の技術の飛躍的進歩の成果が織り込まれるに違いない。また、ずっと安くつくれることだろう。

地上にせよ宇宙にせよ、人間には危険すぎる多くの環境では、二機のボイジャーが先駆者として示したようなロボットと人間の協力が、将来の鍵を握っている。自分で故障を診断し

て自分で修理する、賢いうえに移動可能、小型で、そのうえ命令も聞ける、そんなロボットがあったとしたら、大いに役立ちそうな分野は、原子力事故、鉱山での災害、海中の探査や考古学、製造現場、火山の内部調査、家事の手伝いなど、ちょっと考えてみただけでもこんなにある。近い将来、さらに広がるに違いない。

政府がつくったものは厄介である、というのは、今日の常識である。しかし、二機のボイジャー探査機は政府と、もう一つの「問題児」である学界との共同でつくられた。安く、時刻表どおりに運行され、しかもその性能は、設計基準も、製作者たちの夢をもはるかに超えていた。支配するわけでもなければ、脅したり、傷つけたり破壊するわけでもない、この優雅な機械は、私たちの本性に備わったさすらい人の心、太陽系からさらに外へ出たいという探検心の表われといえる。ここから得られた宝を、世界中のだれでもが手にすることができる。米国の政策の多くを忌み嫌う人も、いちいち賛同してくれる人も、この成果には同じように敬意を表してくれる。このような業績は、過去数十年間にあまり例を見ない。ボイジャーの打ち上げから海王星への接近までに米国人が払った金は、一人当たり年に一セント（一円）以下だ。惑星探査は、米国のためのみならず、人類にとっても、全力を尽くすべき課題の一つなのである。

7　土星の月タイタン

君は土星の衛星群の間にサルタンのように坐し……

ハーマン・メルヴィル『白鯨』一〇七章（一八五一年）から。阿部知二訳

月と火星のちょうど中間の大きさの天体がある。そこは、焦げたようなオレンジ色を帯びた褐色の雲に絶えず覆われ、すぐ近くにある環を持った惑星から流れ込む荷電粒子によって、上層大気にはさざ波が立っている。その大気の底に横たわる未知の表面には、空から生命の材料が降り注いでいる。太陽からの光が一時間以上もかかって届く、はるかに遠いところである。探査機が到達するのには何年もかかる、いまだにほとんど未知の世界である。たとえば、大きな海が広がっているのかどうかも分からない。それでも、私たちの知る限り、そこでは、まさにいま、太古に地球上で生命が誕生するのに至ったのと同じような仕組みが働いているだろうと考えられている。

私たちのこの地球では、きわめて優れた物質進化に関する実験が長年にわたって行なわれ

てきたようなものだ。これまでに知られている最古の化石は約三六億年前のものである。もちろん、生命はそれよりかなり前に誕生していなければならない。四二億年か四三億年前の地球はまだその形成過程の最後の段階で、荒れ果てた世界であったため、生命の誕生には不向きであっただろう。無数の隕石の衝突によって、地表は溶け、海は蒸発し、蓄積されていた大気は宇宙空間に飛び散ってしまった。したがって、四〇億年前ころのかなり限られた時期、おそらくは一億年ほどのあいだに、私たちのもっとも遠い祖先は生まれたのだ。ひとたび条件が整うと、生命はすみやかに発生した。どういうふうにしてか、ともかく生命は誕生したのである。

最初の生命は、きっと愚かで、今日生きているもっとも下等な微生物よりはるかに無能なものだったに違いない。たぶん、自分たちの雑な複製をつくることしかできなかっただろう。しかし、自然淘汰という、チャールズ・ダーウィンによってはじめて筋道立てて定義された重要な過程が驚くべき力を発揮して、そのような粗末な最初の生命から、現在あるような豊かで美しい生物界のすべてのものが生み出されたのである。

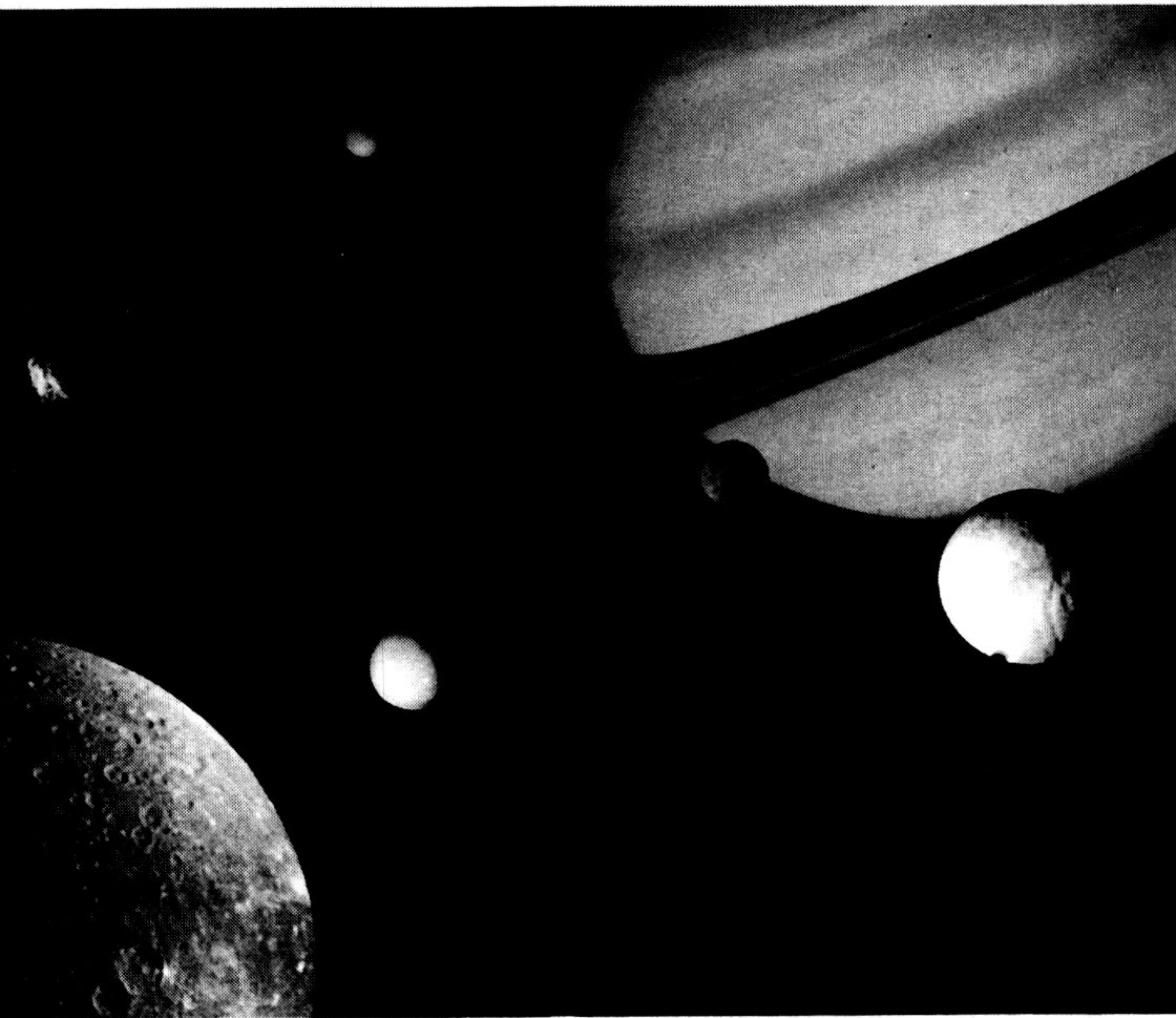
最初の生命は、まだ生命の存在しなかった地球上の物理化学法則によって、いわばひとりでにできた材料や部品でつくられていた。すべての地球上の生命を構成しているものは有機分子と呼ばれる、炭素を主成分とする分子である。途方もなくたくさんある有機分子のうち、ほんのわずかな種類だけが生命の主材料として使われている。もっとも重要なのは、たんぱ

く質の構成単位であるアミノ酸と、核酸の構成単位であるヌクレオチドの二つである。
生命誕生の直前、これらの有機分子はどこからやって来たのだろう。それには二つの可能性しかない。地球の外からか、地球の中からか、どちらかだ。私たちは、かつての地球には今日よりはるかにたくさんの彗星や小惑星が落下していたこと、これらの小天体は複雑な有機分子の宝庫であること、そして、有機分子の一部は地球に落下したときに焼けてしまわずに残ったであろうことを知っている。しかし、ここでは、私はこうした輸入品ではなく、自家製品について、つまり原始地球の大気と海洋でつくられた有機分子について述べることにしよう。

残念ながら、地球の初期大気の組成はまだよく分かっていないが、有機分子が生成しやすいかどうかは大気組成に大きく依存する。酸素は少なかったはずである。なぜなら、酸素は緑色植物によってつくられるが、当時、植物はもちろん存在しなかったからだ。おそらく水素は現在より多かっただろう。なぜなら、水素は宇宙にきわめて豊富に存在する元素であり、その軽さゆえに、ほかのどの原子よりも速やかに地球の上層大気から宇宙空間へ逃げていってしまったであろうからだ。もし、さまざまな初期大気が考えられるなら、それらを実験室で再現して、いくらかのエネルギーを供給し、どんな有機分子がどのくらいつくられるかを調べることができる。そうした実験は好奇心をそそり、また非常に有望とも考えられ、何年にもわたって行なわれてきた。しかし、そもそもの初期大気の条件が分からないために、そ

の実験結果の信頼性には限界がある。

私たちに必要なのは、水素に富んだ原始大気をまだ保持している実在する天体、ほかの点でも地球によく似た、現在も生命をつくる有機物が大量に生成されている天体、私たち自身が自分たちの起源を探しに行ける天体である。この太陽系にただ一つ、そんな天体がある（＊1）。それは、土星の大きな月、タイタンだ。タイタンは直径約五一五〇キロメートルと地球の半分より少し小さく、一六日で土星のまわりを一周している。

しかし、ほかの天体とまったく同じ天体など存在しない。タイタンは、少なくとも一つの重要な点で原始地球と大きく異なる。太陽からたいへん遠いため、タイタンの表面は非常に冷たいのである。温度は水の氷点よりはるかに低く、およそ摂氏マイナス一八〇度である。ということは、生命が誕生したころの地球は、現在と同様に、ほとんど海に覆われていたのに対し、タイタンには、明らかに液体の水の海は存在することができないのである（水以外の物質でできた海なら、話は別だ。それはあとで述べる）。しかし、低温のほうがよい点もある。なぜなら、ひとたび分子が合成されれば、分解されにくいからだ。温度が高いほど、分子は速く分解してしまう。タイタンではこの四〇億年間、天からの恵みのように雨となって降りつづけている分子は、そのまま地上にとどまり、ほとんど変化しないまま冷凍保存されている。もしかすると、地球からの化学者の到来を待っているのかもしれない。

土星とその衛星たち。一番上がタイタン。(JPL/NASA提供)

一七世紀に望遠鏡が発明されると、多くの新しい天体の発見がもたらされた。一六一〇年にはガリレオが、はじめて木星の四大衛星をのぞき見た。それはまるで太陽系のミニチュアのようだった。惑星は太陽の周りを回っているとコペルニクスは考えたが、それと同じように、小さな衛星たちは木星の周りを競って回っていたのである。この発見は天動説支持者たちにとって、さらなる大きな打撃だった。その四五年後、オランダの著名な物理学者クリスティアン・ホイヘンスが土星の衛星を発見し、タイタンと名づけた(＊2)。それは、太陽の光を反射してきらめく、一四億キロメートルかなたの小さな光の点だった。しかし、ヨーロッパの男性が長い巻き毛のかつらをかぶっていた、その発見当時から、アメリカ男性が髪を刈り株のように短くした第二次世界大戦まで、タイタンについては、妙な黄褐色をしているということ以外、ほとんど何も新しいことは発見されなかった。地上の望遠鏡では、タイタンの詳しいことはほとんど明らかにできなかった。わずかに、二〇世紀初めに、スペインの天文学者J・コマス・ソラーがタイタンに大気が存在することの間接的な証拠を報告しているだけである。

私はタイタンとともに成長したといえるかもしれない。私はシカゴ大学でジェラルド・P・カイパーの指導の下、博士論文を書いた。カイパーはタイタンが大気を持つことの決定的な証拠を最初にとらえたオランダの天文学者で、クリスティアン・ホイヘンスの直系の弟子の一人である。一九四四年、タイタンのスペクトルを分析していたカイパーは、そこにメ

タンガスの特徴的な線を発見して、仰天した（＊3）。望遠鏡をタイタンに向けると、メタンのスペクトル線が現われ、望遠鏡を別の方向へ向けると、スペクトル線は消えた。それまでは衛星というものは十分な量の大気を保持できるとは考えられていなかった。実際、地球の衛星である月には大気は存在しない。しかし、カイパーは、たとえタイタンの重力が地球の重力より小さくても、タイタンは大気を保持できるだろうと考えた。なぜなら、タイタンの上層大気は非常に冷たいからだ。冷たい大気の分子はあまり速く動けないので、脱出速度に達して宇宙空間に逃げていく分子はそれほど多くはないと考えられるからだ。

カイパーの学生のダニエル・ハリスは、タイタンが赤い色をしていることを明らかにした。私たちは火星と同じように赤く錆びた表面を見ていたのだろうか。タイタンについてさらに知るためには、タイタンの表面で反射された光の偏向を測ればよい。通常の太陽光は偏光していない。ジョゼフ・ベベルカ（現在はコーネル大学の教官）は、ハーバード大学での私の学生であり、したがって、いわばカイパーの孫弟子ということになるが、彼は一九七〇年ころに博士論文の研究としてタイタンの偏光を測定し、それがタイタンと太陽と地球の相対位置が変わるにつれて変化することを発見した。しかし、その変化の様子は月とはまったく異なっていた。そこでベベルカは、この変化の特徴は、タイタンを広く覆う雲かかすみによるものであると考えれば、うまく説明できると結論した。望遠鏡でタイタンを見ていたとき、私たちはその表面を見ていたわけではなかったのだ。私たちはタイタンの表面がどうなって

いるか知らなかった。そして、本当の表面が雲のどれくらい下にあるかも分からなかった。
　こうして、一九七〇年代の初めまでに、ホイヘンスの遺産と彼の後継者たちによって、少なくともタイタンには濃い、メタンに富んだ大気があり、赤みがかった色をした雲のベールかエーロゾルのかすみに包まれているらしいということが分かった。ではいったい、どんな雲なら赤く見えるのだろうか。七〇年代初め、共同研究者のビシュン・カールと私は、メタンに富むさまざまな大気のモデルに、紫外線や電子線を照射して、赤や褐色の固体を生成する実験を行なった。反応の結果、生成された物質は実験容器の内壁をすっかり覆ってしまった。もし、メタンに富むタイタンが赤褐色の雲を持つなら、その雲は私たちが実験室でつくったものととてもよく似ているに違いないと、私は思った。私たちはこの物質を、ギリシャ語で「濁っている」ことを意味する「ソリン」と名づけた。はじめはこの物質が何からできているのかほとんど分からなかった。それは、最初に存在した分子が分解され、炭素、水素、窒素といった原子と分子の破片とが再結合することによってできた有機物のシチューのようなものだった。
「有機」という言葉は、必ずしも生物起源を意味するものではない。これまで一世紀あまりのあいだ、化学では、それは単に炭素原子からなる分子をさす言葉として用いられてきた（一酸化炭素や二酸化炭素などきわめて単純な分子は除く）。地球上の生命の基本は有機分子であり、地球上に生命が誕生するまでには時間がかかっていることから、それ以前に何らか

の仕組みによって有機分子がつくられていたはずである。似たようなことがいま、タイタンで起こっている可能性がある、と私は考えた。

タイタンに関する理解を深めるうえで画期的な出来事は、一九八〇年と八一年に探査機ボイジャー1号と2号が土星とその衛星たちに接近したことだった。紫外線、赤外線、電波などの観測機器が、タイタンの見えない表面から宇宙空間に至るまでの大気の圧力と温度分布を明らかにした。それによって私たちはタイタンの雲がどのくらいの高度まで存在するのかを知った。また、タイタンの大気が、現在の地球と同じように、主に窒素でできていることも分かった。それ以外の主成分は、カイパーが発見したメタンであった。メタンは炭素を基本とする有機分子が合成されるための最初の材料である。

ほかにも気体として存在する炭化水素やニトリルなど単純な有機分子がいろいろと見つかった。そのうち、もっとも複雑なものは炭素や窒素のような重い原子を四個持っている。炭化水素とは炭素原子と水素原子だけからなる分子のことで、私たちには、天然ガスや石油、ワックスなどがなじみ深い。炭化水素は、砂糖やでんぷんなどのような酸素原子を含む炭水化物とはまったく異なる。ニトリルは炭素原子と窒素原子が特殊な方法で結合した分子である。もっともよく知られているのはシアン化水素で、人間にとっては致死的な猛毒ガスであるが、地球上での生命の起源へとつながる過程に深くかかわったとされる物質である。

タイタンの上層大気に、これらの単純な有機分子が見つかったことは、たとえそれが、一

〇〇万分の一（一ppm）、一〇億分の一（一ppb）という微量であったとしても、たまらないほど期待をかきたてる。初期の地球の大気は、タイタンの大気に似ていたのだろうか。タイタンには現在の地球の約一〇倍も濃い大気が存在する。しかし、初期の地球がいまよりもっと濃い大気を持っていたとしてもおかしくはない。

さらにボイジャーは、土星の磁場に捕捉された高エネルギーの電子と陽子が高い密度で分布する領域を発見した。土星の周りを公転するタイタンは、この磁気圏に出たり入ったりする。高エネルギーの電子と太陽の紫外線のビームがタイタンの上層大気にしょっちゅう飛込んでくる。ちょうど原始地球の大気に、荷電粒子と太陽の紫外線のビームが降り注いでいたように。

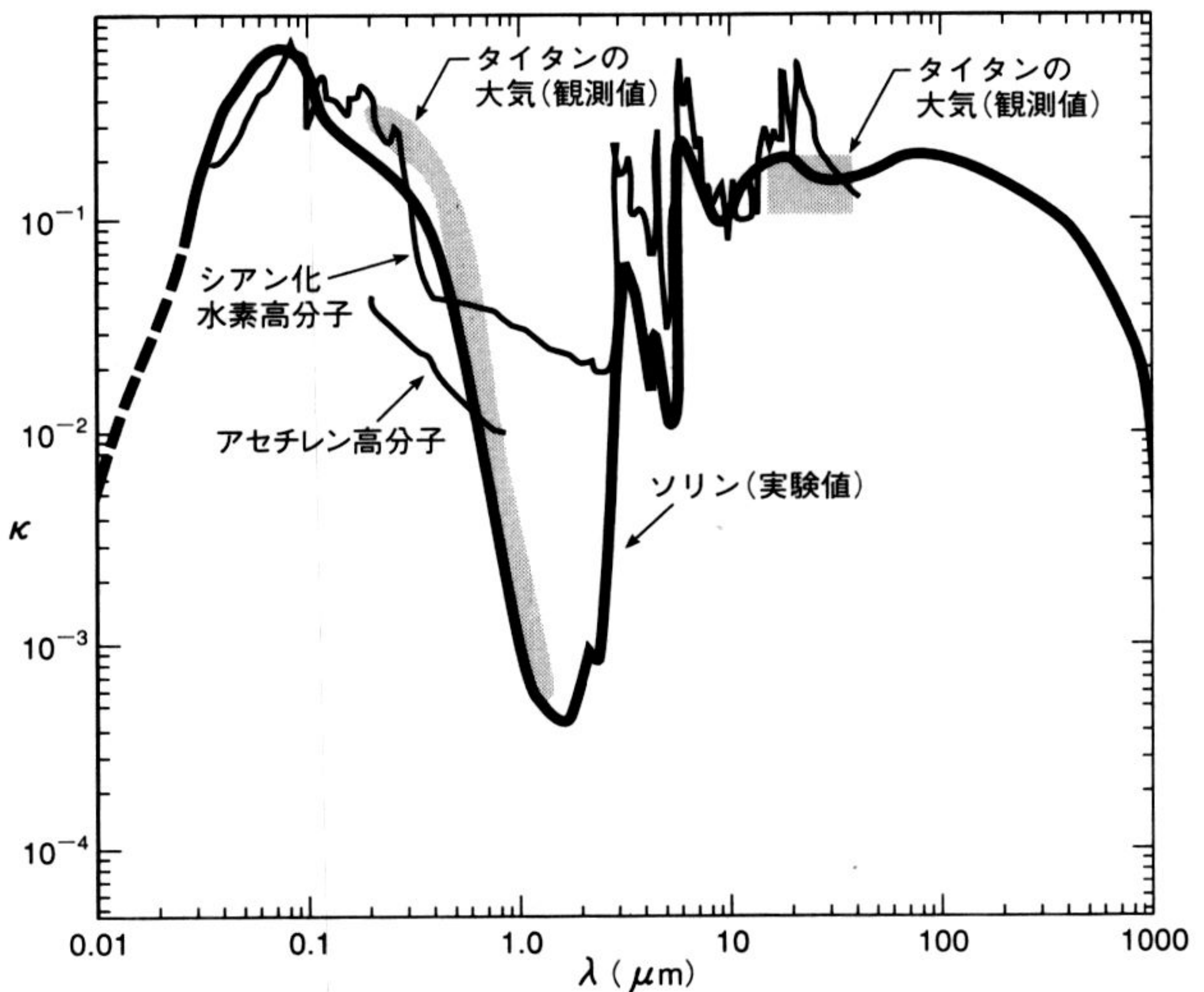
このことから、窒素とメタンの混合物に紫外線や電子線を低圧力下で照射して、どんな複雑な分子ができるかを調べるようと考えるのは、ごく自然である。私たちはタイタンの上層大気で起こっていることを模擬実験することはできないだろうか。コーネル大学の研究室で、同僚のW・リード・トンプソンが中心となって、私たちはタイタンの「有機ガス製造工場」を再現した。その結果、タイタンに存在するもっとも単純な炭化水素は、太陽の紫外線でつくられることが分かった。しかし、そのほかのすべての気体生成物のうちで、電子線によってつくられたものが、ボイジャーが観測したものと同じ構造であり、同じ組成を示すことが明らかになった。それらはぴたりと一致した。実験室でつくりだされた気体生成物のうち、

まだタイタンで発見されていないものは、おそらく今後の探査で調査されることになるだろう。私たちがつくりだしたもっとも複雑な有機ガスは、六個または七個の炭素原子と窒素原子からできていた。これらの生成物はソリンをつくるための中間産物である。

ボイジャー1号がタイタンに接近するとき、私たちは、その厚い雲に切れ間があることを期待していた。遠くから見ると、タイタンはちっぽけな平たい円盤のように見えた。最接近したとき、カメラの視野はその円盤の一部分でいっぱいになった。もしそのかすみと雲に切れ間があったなら、たとえ数キロメートルの幅しかなくても、平たい円盤を走査する際に、隠された表面について何かをうかがい知ることができただろう。しかし、雲には切れ間の兆候さえなかった。この天体は完全に閉ざされていた。地球上のだれ一人として、タイタンの表面に何が存在しているのかを見ることができなかった。そしてタイタンの表面にいる観測者も、可視光で見上げている限り、そのかすみの上に広がる光景も知らず、その母なる土星や、その荘厳な環を見ることもないだろう。

ボイジャーや、地球軌道上のＩＵＥ（国際紫外線観測衛星）、地上の望遠鏡などによる観測によって、タイタンの表面を隠している赤褐色のかすみの粒子については、かなりのことが分かってきている。どんな波長の光を吸収するのか、どんな波長の光を透過するのか、どの程度光を屈折するのか、さらに、かすみの粒子はほとんどがたばこの煙の粒子くらいの大き

さであることも分かった。これらの光学的性質は、もちろん、その化学組成に依存している。テネシー州のオークリッジ国立研究所のエドワード・アラカワと共同で、ビシュン・カールと私は、ソリンの光学的性質を調べた。それは実際のタイタンのかすみとそっくりだった。ほかのどんな候補物質も、鉱物であれ有機物であれ、タイタンの光学的性質とは一致しなかった。だから、私たちは、タイタンのかすみを「びん詰めにすることに成功した」と主張できる。それは、タイタンの上層大気で形成され、ゆっくりと落下し、表面におびただしい量が蓄積される。いったい、この粒子は何でできているのだろうか。

複雑な固体有機物の組成を正確に知ることは非常に難しい。たとえば、長年にわたる経済的要望にもかかわらず、いまだに石炭の化学組成は完全には理解されていない。しかし、私たちは、タイタンのソリンについて、いくつかの事実を発見した。ソリンは、地球上の生命の本質的な構成単位を含んでいる。実際、ソリンを水に入れれば、たんぱく質の基本的構造物であるアミノ酸や、DNAやRNAの構成単位であるヌクレオチドなどをたくさんつくることができる。それらのアミノ酸のいくつかは、地球上の生命に広く見られるものである。また、それとはまったく異なる種類のものもつくられる。そのほかの有機分子の長い鎖もできる。生命と関係するものもあれば、関係しないものもある。過去四〇億年のあいだに、タイタンの表面には大気から落下した多量の有機分子が積もった。もし、それらがすべて凍りついてしまって、変化しないままそこにあるならば、少なくとも数十メートルの厚さになっ

ソリンとタイタンの大気との比較。縦軸は吸収率、横軸は波長を表わす（単位はミクロン)。可視光は波長0.4～0.7ミクロンの範囲で、それより短波長は紫外線やX線、長波長は赤外線や電波である。網で示した部分が地上の光学望遠鏡や地球周回軌道上のIUE（国際紫外線観測衛星)、探査機ボイジャーなどの観測で求められたタイタンの大気のデータ、太い線が実験室でつくられたソリンのデータである。シアン化水素やアセチレンなどの高分子の特性は観測値とは一致しない。ビシュン・N・カールと筆者（コーネル大学）およびエドワード・アラカワ（オークリッジ国立研究所）による。

ているに違いない。もっと極端に厚さ一キロメートルという予測もある。
しかし、零下一八〇度ではアミノ酸は決してできないだろうと考えるのも、当然である。水のなかにソリンをたらす、というようなことは、初期の地球ではあり得るが、タイタンでは起こり得ないことだろう。しかしながら、タイタンには時折、彗星や小惑星が衝突しているに違いない。(土星のほかの衛星にはたくさんの衝突クレーターがあるし、タイタンの大気は、大きな物体が高速で突っ込んできたときに表面に達するのを妨げるほどには厚くない。)タイタンの表面を一度も見たことはないが、それでも惑星科学者はタイタンの組成について、いくらかのことは知っている。タイタンの平均密度は、氷と岩石の中間である。おそらくタイタンはその両方を含んでいるのだろう。氷も岩石も、土星の近くの衛星には豊富に存在するし、ほとんど純粋な氷でできているものもある。もし、タイタンの表面が氷でできているなら、彗星が高速で衝突することによって一時的にその氷が溶けるだろう。トンプソンと私は、タイタンの表面の五〇パーセント以上はかつて天体の衝突によって溶けたことがあり、一度衝突で溶けたら平均して一〇〇〇年くらいはその状態が続いただろうと推定している。
こう考えれば、まったく別の物語をつくることができる。地球上では、生命は、海洋や浅い潮だまりで誕生したと考えられている。地球上の生命は主として水からできており、水は物理的にも化学的にも重要な役割を果たしている。実際、私たちのように水をたくさん含ん

タイタンの表面は私たちが想像するよりはるかに生命の誕生に適した場所かもしれないのだ。けて液体になった水にソリンが混合されれば、たとえわずか一〇〇〇年間であったとしても、かからなかったとしたら、タイタンでは一〇〇〇年で生命が誕生した可能性だってある。溶だ生物には、水なしの生命など想像しにくい。しかし、もし地球上での生命誕生に一億年も

それにもかかわらず、私たちはまったく哀れなほどにタイタンについて無知である。フランスのトゥールーズで開かれたＥＳＡ（欧州宇宙機関）主催のタイタンに関するシンポジウムで、私はこのことをつくづくと感じた。液体の水の海はタイタンには存在し得ないが、液体の炭化水素の海は存在し得る。もっとも豊富に存在する炭化水素であるメタンの雲は、表面からそれほど高くないと考えられる。つぎに豊富なエタンは、地球で水蒸気が地表近くで液体になるのと同じように、タイタンの表面に凝縮するに違いない。表面の温度はエタンの融点にたいへん近いのだ。タイタンの歴史を通じて、液体の炭化水素の広大な海がつくられてきたはずである。その海はかすみや雲よりずっと下にあるが、だからといって、まったく手が届かないというわけではない。電波はタイタンの大気と大気中に浮いていてゆっくりと落下している細かい粒子をたやすく透過できるからである。

トゥールーズで、カリフォルニア工科大学のデュエイン・Ｏ・ミュールマンは、カリフォルニアのモハーベ砂漠にある電波望遠鏡から電波信号をタイタンに送る方法について説明し

た。タイタンに届いた信号は、かすみや雲を突き抜けてその表面に達し、反射して、宇宙空間を伝わり、再び地球に戻ってくる。すっかり減衰した信号をニューメキシコ州のソコロ近くの多数の電波望遠鏡が並んだ干渉計で検出する、というものである。素晴らしい考えだ。もし、タイタンが岩石や氷の表面を持っているなら、そこで反射したレーダー信号を地球上で検出することが可能なはずである。しかし、もしタイタンが液体の炭化水素の海に覆われていたどしたら、ミュールマンは何も検出できないことになる。液体の炭化水素は電波を吸収してしまって、反射波は地球に戻って来ないからだ。実際、このミュールマンの巨大なレーダー・システムは、タイタンのある経度が地球に向いているときには信号を検出し、また別の経度では信号を検出していない。よろしい、タイタンは海洋と大陸を持っていて、信号を反射して地球に返してきたのは大陸なのだ、とも考えられる。しかし、もし、タイタンがこの点で地球に似ているならば、つまり、ある経度(たとえばヨーロッパからアフリカを通るような場所)は主として大陸からなり、ある経度(たとえば、太平洋の真ん中を通るような場所)は主に海洋からなっているならば、私たちは新たな問題に直面しなければならない。

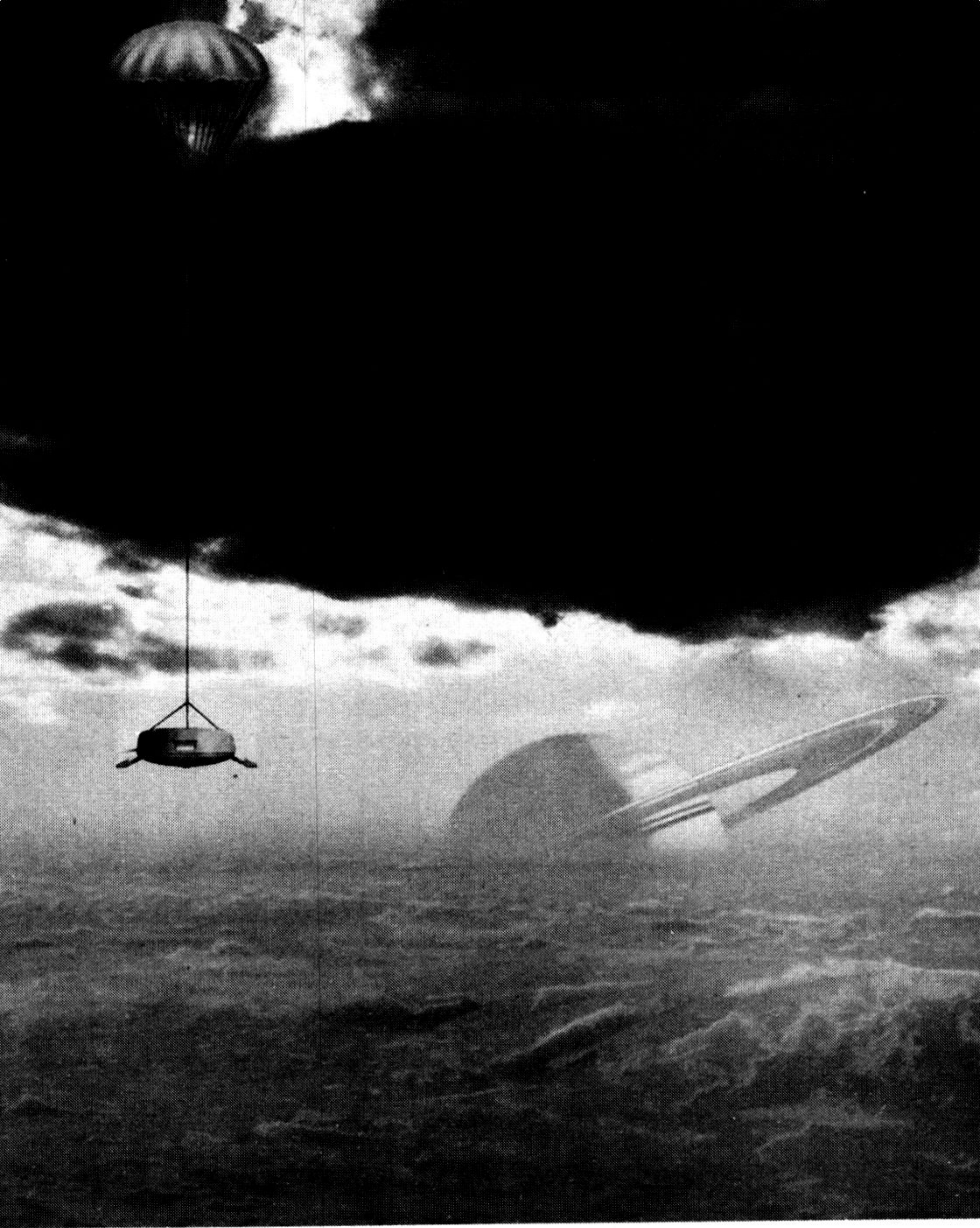
土星の周りを回るタイタンの軌道は、完全な円ではなく、かなりつぶれた楕円である。もしタイタンが広大な海洋を持っているなら、巨大な惑星である土星はタイタンに大きな潮汐力を引き起こすだろう。そして、潮汐摩擦によって、太陽系の年齢よりもずっと短い時間のうちに、タイタンの軌道は円になってしまうだろう。このような理由から、一九八二年、現

在フロリダ大学にいるスタンレー・ダーモットと私は、「タイタンの海の潮汐」という論文で、タイタンは全表面が海か、全表面が陸か、どちらかでなければならないと論じた。さもなければ、浅瀬などでは潮汐摩擦がきわめて大きなものとなる。島や湖くらいならば存在が許されるかもしれないが、それ以上の大きさのものがあれば、タイタンは現在とは全然違う軌道になっているだろう。

私たちの前には三つの説がある。一つは、タイタンはほとんど完全に液体の炭化水素の海で覆われた世界であるというもの、もう一つは、タイタンは大陸と広大な海洋の両方が存在する世界であるというもの、そして、もう一つは、広大な大陸と広大な大洋はタイタンでは同時に存在し得ないという、私たちが提案している説である。実際にどんな答えが出されるのか、非常に興味深い。

私がここまで述べてきたことは、ある科学的理解の歴史である。明日には、これらの神秘や矛盾を解決する新しい発見があるかもしれない。もしかすると、ミュールマンのレーダー観測に間違いがあるかもしれない。しかし、彼の観測は、タイタンがもっとも接近したときに、きちんと行なわれたものであり、その可能性は考えにくい。もしかすると、ダーモットと私のタイタンの軌道の潮汐進化に関する計算に誤りがあるかもしれない。しかし、まだこれまでのところ、だれも間違いを見つけていない。どうしてエタンはタイタンの表面に厚く凝縮していないのかも、謎である。もしかすると、低温にもかかわらず、数十億年の間に化

学組成の変化が起こったのかもしれない。彗星の衝突や火山や他の地質活動が組み合わさり、宇宙線の作用も加わって、液体の炭化水素が何らかの複雑な有機物の固体に変化し、それが電波を宇宙に反射しているのかもしれない。あるいは、電波を反射する何ものかが、炭化水素の海に浮いているのかもしれない。しかし、炭化水素はとても密度が小さく、どんな有機物の固体も、泡だらけでもない限り、石のようにタイタンの海中に沈んでしまうはずなのだが。

ダーモットと私は、タイタンの大陸や海洋を想像したとき、私たちが地球の知識に縛られすぎていたのではないか、と考えている。それも私たちの思考のなかの地球中心主義の表われではないかと。土星のほかの衛星の表面には、おびただしい衝突クレーターや盆地地形がたくさんある。もし、このような天体の一つに液体の炭化水素がゆっくりとたまっていくと考えたら、全体を覆う広大な海洋ではなく、縁までなみなみとではないにしても、個々の大きなクレーターが液体の炭化水素で満たされた姿が思い描けるだろう。直径一〇〇キロメートルを超える大きなものも含めて、たくさんの円い石油の海が表面に散在している。しかし、目に見えるほどの波が遠く離れた土星によって起こされることはない。そして当然、船も、泳ぐ人も、サーファーも、釣りをする人もいない。私たちの計算によれば、潮汐摩擦は、この場合無視できるほど小さく、タイタンの楕円軌道が円に近づくほどのことはないだろう。レーダーか近赤外画像が得られるまでは、はっきりしたことは分からないが、しかしひょっ

来世紀初めには、ESA（欧州宇宙機関）の観測機「ホイヘンス」がタイタンの上層の雲のなかを降下し、その下にある未知の表面に達するだろう。ハーミッド・ハッサンによる想像図。（ESA提供）

とすると、これが案外、私たちの疑問への解答かもしれない。タイタンは炭化水素の大きな円い湖が散在する天体なのかもしれない。そして、ある経度には他のところに比べて湖がたくさん集まっているのかもしれない。

一面にソリンの厚い堆積物で覆われた凍った表面。あるいは、あちこちに有機物で覆われた島が突き出した炭化水素の海。そして多数の火口湖が散在する世界。さらにこのほかに、私たちが考えもつかないようなものがあるだろうか。これは単に学問的な問いではない。なぜなら、実際にタイタンを調査するための宇宙探査機の計画が検討されているからだ。NASAとESAの共同計画で、カッシーニという名の探査機が一九九七年一〇月に打ち上げられる予定だ。もし計画どおりならば、探査機は、金星に二回、地球と木星にそれぞれ一回接近してそれらの重力の助けを得て、七年の旅ののち、土星の周回軌道に入る。そして、タイタンに接近するたびに、レーダーを含む一連の観測装置を使って調査をすることになる。カッシーニはタイタンにかなり近づくので、地球でのミュールマンの先駆的なシステムでは検出できなかったような表面の微細構造をもっとよく分解することができるだろう。近赤外線による観測も予定されている。その結果、二〇〇四年の夏ころには、私たちは、隠されたタイタンの表面の地形図を手にすることができるかもしれない。

カッシーニは、その名もホイヘンスと呼ばれる小型探査機も持っていく。ホイヘンスは主探査機から離れて、タイタンの大気へ突入する。巨大なパラシュートが開き、測定装置の入

った容器はゆっくりと有機物のかすみのなかを大気下層へと降下し、メタンの雲を通過する。途中、有機化学分析を行ない、もし無事に着陸したら、この天体の表面も分析する予定だ。

何も保証はない。しかし、探査計画は技術的に十分可能であり、ハードウエアはすでに製作中である。若いヨーロッパの科学者たちを含む専門家のグループが精力的に仕事を進めており、多くの国が計画に参加するようである。ひょっとすると、それは本当に実現するかもしれない。数十億キロの惑星間空間を越える飛行がそれほど遠くない将来実現し、タイタンにおける生命誕生までの道のりがどのくらい長いのか、新しい情報がもたらされるかもしれない。

（＊1）もしかすると、ただの一つもなかったかもしれない。調査対象となるそのような天体が実際にあるということは、とても幸運なことだ。ほかはすべて、水素があまりに多すぎるか、逆に不十分か、まったく大気が存在しない天体である。

（＊2）この名がつけられた理由は、彼がそれを驚くほど大きいと考えたからではなく、ギリシャ神話のオリンポスの神々より前の世代の神々、つまりサタン（土星）とその兄弟や従兄弟たちは、タイタンと呼ばれていたからである。

（＊3）タイタンの大気は検出できるほどの量の酸素を含んでいないので、メタンは、地球の大気と同様

に、化学平衡から大きく外れてはいないと考えられる。しかし、メタンの存在が、すぐに生命存在の指標とはいえない。

8

最初の新惑星

惑星の数を説明できるなどと思わないで欲しい。
その問題は解決ずみなのだ……。
ヨハネス・ケプラー『コペルニクス天文学の概要』（一六二一年）から

文明が誕生するはるか昔、私たちの祖先は星空の下の、広々とした野外で暮らしていた。人工の光や大気汚染、現代的な夜の楽しみがつくりだされる以前、私たちが夜空を仰いで目にするものは星であった。星は、もちろん実用的な暦でもあったが、それ以上のものでもあった。疲れ果てた都会人は、たまさか、何千もの輝く星に満ちた晴れた夜空に出くわして、思わず心を動かされる。かくいう私もそうだ、いくつになっても。

天の壮大さにふれた人が宗教的衝動に突き動かされることがあるのは、洋の東西を問わない。野原に寝ころぶと、星が私を取り囲む。私はそのスケールに圧倒される。とても広く、とても遠く、それにひきかえ私は、小さな存在にすぎない。しかし、私は天に拒否されているとは感じない。私は天の一部である。確かに小さいけれど、圧倒的に巨大な天に比べると、

あらゆるものが小さいのである。天にちりばめられた恒星や惑星、そしてその機械的で時計のように優雅で正確な動きに、私たちは抗しがたい感動を覚える。どれほど大きな野心に満ちていたとしても、私たちはそれを小さなものと感じ、謙虚になる。

石器や火の使用から文字にいたるまで、人類の歴史における偉大な発明の大方は、名もない人々によってなされている。はるか昔の出来事についての私たちの記憶はかすかなものだ。惑星が恒星とは違うことに最初に気づいた祖先の名を、私たちは知らない。何万年、もしかすると何十万年も前に生きていたに違いない彼女または彼のことを、私たちは知らない。しかしいつの日からか、世界中の人が、夜空を飾る明るい光の点のうち五個だけは、ほかの星のようにいつも決まった動きをせず、まるで自分の意思を持っているかのように奇妙な動きを見せることを知るようになった。

太陽と月も、明らかに奇妙な動きを見せる惑星と同類だと見なされて、さまよえる天体は全部で七つとなった。古代の人々にとって重要な七つの星には、神々の名が与えられた。いにしえの神々でなく、重要で高位の神々、ほかの神々や人間に命令を下す神の名である。明るくてゆっくり動く惑星（木星）を、バビロニア人はマルドゥク、スカンジナビア人はオーディン、ギリシャ人はゼウス、ローマ人はジュピターと名づけたが、いずれも神々の王の名である。明るくはないが、動きが速く、太陽から遠く離れることがない惑星（水星）を、ローマ人は神々の使いの神の名をとってマーキュリーと呼んだ。もっとも明るく輝く惑星（金

星）は愛と美の女神であるビーナス、血のように赤い惑星（火星）は戦いの神マース、もっともゆっくり動く惑星（土星）は時間の神からサターンと名づけた。これらの命名は私たちの祖先がなし得た最高の偉業だった。彼らは肉眼以外の科学的な測定器具など持たず、地球に閉じ込められたままで、地球も惑星であるなどとはまるで考えなかったのだから（*1）。

一日や一カ月や一年と違い、天文学的には意味がない一週間という時間の区切りがつくられたとき、七つの日には、夜空を飾る七つの変わった星の名がつけられた。私たちは、たやすくそれを理解することができる。英語では土曜日（Saturday）はサターンの日。日曜日（Sunday）と月曜日（Mo(o)nday）は分かりやすい。火曜日から金曜日まではサクソンとその親族、ローマ時代のイギリスつまりケルトのチュートン系侵入者の神々にちなんだ名だ。たとえば水曜日（Wednesday）はオーディン（Odin または Wodin）の日。木曜日（Thursday）は雷神トール（Thor）から、金曜日（Friday）は愛の女神フレイア（Freya）から。一週間の最後の日はローマ起源だが、残りはゲルマン系の名詞である。

フランス語やスペイン語、イタリア語などあらゆるロマンス語圏では、この関係はもっとはっきりしている。これらは古代ラテン語から派生した言葉で曜日は日曜日に始まり、太陽、月、火星、水星、木星、金星、土星から名づけられた。太陽の日は神の日になった。天体の明るさの順、つまり太陽、月、金星、木星、火星、土星、水星（日、月、金、木、火、土、水曜日）と名づけることもできたのに、そうはならなかった。太陽からの距離の順に従うな

ら、日、水、金、月、火、木、土となるはずであった。しかし、惑星や神や曜日に名前をつけていたころ、惑星の並び方を知っている人などいなかった。曜日の順は気まぐれに見えるが、太陽が首位であることは万人が認めていたのだろう。

七つの神、七つの曜日、七つの天体（太陽と月と五個の惑星）というセットは、いたるところで認められ採用された。七という数字は超自然的な意味を持ち始めた。七つの「天」、つまり地球を中心とする透明な七つの球があり、それが各天体を動かしていると考えられた。もっとも外側の七番目の天には「動かない」恒星が存在しているものと思われた。神の休息日を含めるなら天地創世には七日かかり、頭には七つの穴があり、七つの徳と七つの大罪があり、シュメールの神話には七柱の悪魔がおり、ギリシャのアルファベットにはそれぞれが惑星の神に関係する七つの母音があり、ある神秘主義では七柱の運命の神がおり、マニ教の七大書、ローマカトリックの七秘蹟、古代ギリシャの七賢人、錬金術では七つの金属（金、銀、鉄、水銀、鉛、錫、銅で、金は太陽と結びつき、銀は月、鉄は火星と結びつく）が重要だ。七人兄弟の七番目の息子は超能力を持つ。七は幸運の数でもある。新約聖書の「黙示録」では、巻物の七つの封印が開き、七つのラッパが鳴り響き、七つの鉢が満たされた。聖アウグスティヌスは七の神秘的な重要性について書いているが、はっきりとは分かりにくい。彼によれば、三は最初の奇数（一はどうなるのか？）、四は最初の偶数で（二はどうなるのか？）、これを足すと七になるという。ほかにも、これに類するものがあり、現在でも、こ

うしたこじつけは残っている。

ガリレオが発見した木星の四つの衛星の存在は、惑星ではなかったにもかかわらず、七という数字の優位性に挑戦するものとして、信じてもらえなかった。コペルニクスの考えが受け入れられるに従って、地球が惑星のリストに加えられ、太陽と月がはずされた。そして惑星は水星、金星、地球、火星、木星、土星の六つだけだと考えられるようになった。そこで、惑星はなぜ六個でなければならないのかという議論が始まった。たとえば、ある数が自分の約数をすべて足したものに等しい場合、その数を「完全数」というが、六は約数の一、二、三を足したものと同じで、最小の完全数である。あるいは、天地創造は七日かかったのではなく実際は六日間であったとか。こうやって、人々は七つの惑星から六つの惑星に、適応していった。

数字をめぐる神秘主義がコペルニクス説に合致するようになるに従って、この自分勝手な考え方が惑星から月にまで及ぶようになった。地球には衛星が一つ。木星にはガリレオ衛星が四つ。合計は五つ。明らかに一つ欠けている。六が最初の完全数であることを忘れてはいけない。一六五五年にクリスティアン・ホイヘンスが土星にタイタンを発見したとき、彼もほかの多くの人もこれが最後の衛星だと信じて疑わなかった。六つの惑星、六つの衛星、これぞ天にまします神のみわざだ。

ホイヘンスは、これ以上衛星がないことは明らかだとして、以後探索をやめてしまったと、

ハーバード大学の科学史家、I・バーナード・コーエンは指摘している。一六年後、皮肉にもホイヘンスがパリ天文台を訪れているときに、同天文台のG・D・カッシーニ（＊2）が七番目の衛星イアペトスを発見した。それは、タイタンの外側の軌道を回っており、一方の半球は黒いのに残りの半球が白いという不気味な衛星だった。それからほどなく、カッシーニは、タイタンの内側にあるもう一つの衛星レアを発見した。

数の神秘に関して、別の楽観主義が現われる。これはパトロンにへつらうという実利的目的のために使われた。カッシーニの発見は、惑星の数と衛星の数を足して一四にした。たまたま、カッシーニのために天文台を建てて給料を払っていたのは、フランスの太陽王ルイ一四世だった。カッシーニはたちまち二つの衛星の発見を君主への贈り物とし、ルイ王朝の支配は太陽系の果てまで及んでいると賛美したのである。そしてカッシーニは、慎重にもこれ以上の衛星探しをやめた。もう一つ衛星を見つけでもして、今度はルイ一四世を怒らせることを恐れたのだと、コーエンは推測する。何しろ新教徒であるといちゃもんをつけて、すぐにも牢獄にぶちこむ権限を持っているような君主に対して、軽はずみなことはできなかったからだ。しかし一二年後、カッシーニは恐怖におびえながらも、衛星探しに戻り、二つの衛星を発見する。（おそらくこの中断は賢明だったのだろう。もし衛星の数だけルイが必要ならば、七〇人あまりのブルボン家のルイ王によって、フランスは苦しめられねばならなかったろう。）

一八世紀後半、市民革命の時代になると、数の神秘に関する議論は消えていった。それでも、一七八一年、望遠鏡が新しい惑星を発見したと聞いて、人々はとても驚いた。それに比べると新しい衛星の発見は、最初の六個、あるいは八個の衛星が発見されたあとでは、印象は薄かった。しかし発見すべき惑星がまだ残っていて、しかもそれを発見する手段が見つかったとは、驚くべきことであると考えられた。まさしくそのとおりだった。もし未知の惑星が一つあるなら、太陽系やそのほかの惑星系にはもっとあるだろう。暗闇のなかに多数の新天体が隠れているのなら、つぎに何が発見されるかを、だれが言い当てることができようか。

この発見はプロの天文学者ではなく、音楽家のウィリアム・ハーシェルによってなされた。彼の一族は、のちに米国植民地の圧制者となるジョージ三世を生んだハノーバー家とともに、ドイツから英国に帰化している。そこで彼は、パトロンにちなんで惑星にジョージという名（実際はジョージの恒星と名づけられた）をつけることを希望したが、幸運にも、その名は残らなかった（天文学者は王にへつらってばかりいたように見える）。かわりに、ハーシェルが発見した惑星には天王星（ウラヌス）という名がついた。その名は、古代の天の神で、ギリシャ神話によればサトゥルヌス（土星）の父で、オリンポスの神々の祖父ということになる。

私たちはもはや太陽と月を惑星とは考えていないので、比較的重要ではない小惑星と彗星

を無視すれば、天王星は太陽から数えて七番目の惑星（水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星）で、古代の人々には知られていなかった最初の惑星である。外側の四つの木星型惑星は、内側の四つの地球型の惑星とはずいぶん違っている。また冥王星は、どちらとも異なる。

歳月が流れ、観測機器の質が向上するに従って、はるかな天王星についても多くのことが分かるようになった。太陽光がぼんやりと反射しているのは、固体の表面がなく、タイタンや金星、木星、土星、海王星と同じく大気や雲に覆われているからだ。天王星の大気は水素とヘリウムというもっとも単純な気体からなる。メタンやそのほかの炭水化物もある。地球の観察者から見える雲のすぐ下には、アンモニアと硫化水素、水からなる大量の厚い大気層がある。

木星と土星の深いところでは気圧が非常に高いため、原子から電子がはぎとられて、大気は金属のようになっている。この二つの惑星より小さい天王星では気圧はそれほど大きくなく、そのような現象は起きていないようだ。さらに深いところを見ることはできないが、天王星の衛星に対する微妙な引力から、大気の巨大な重さの下には岩石の表面があるということがようやく発見された。膨大な大気の下には、大きな地球型の惑星が隠されていたのだった。

地球の表面温度は地球が受ける太陽光で決まる。もし太陽を消してしまえば、惑星はすぐ

に冷えてしまう。南極の冷たさどころではない。海洋が凍るだけでなく、寒さのあまり大気が凝結して、地球全体を一〇メートルの厚さの酸素と窒素の雪が覆ってしまうのだ。地球の熱い内部から出てくる少々のエネルギーでは、これらの雪を溶かすことはできない。しかし、木星、土星、海王星では事情が違う。遠い太陽から受け取る温かさと惑星内部からの熱はほぼ同じなのだ。太陽が消えても、影響は小さい。

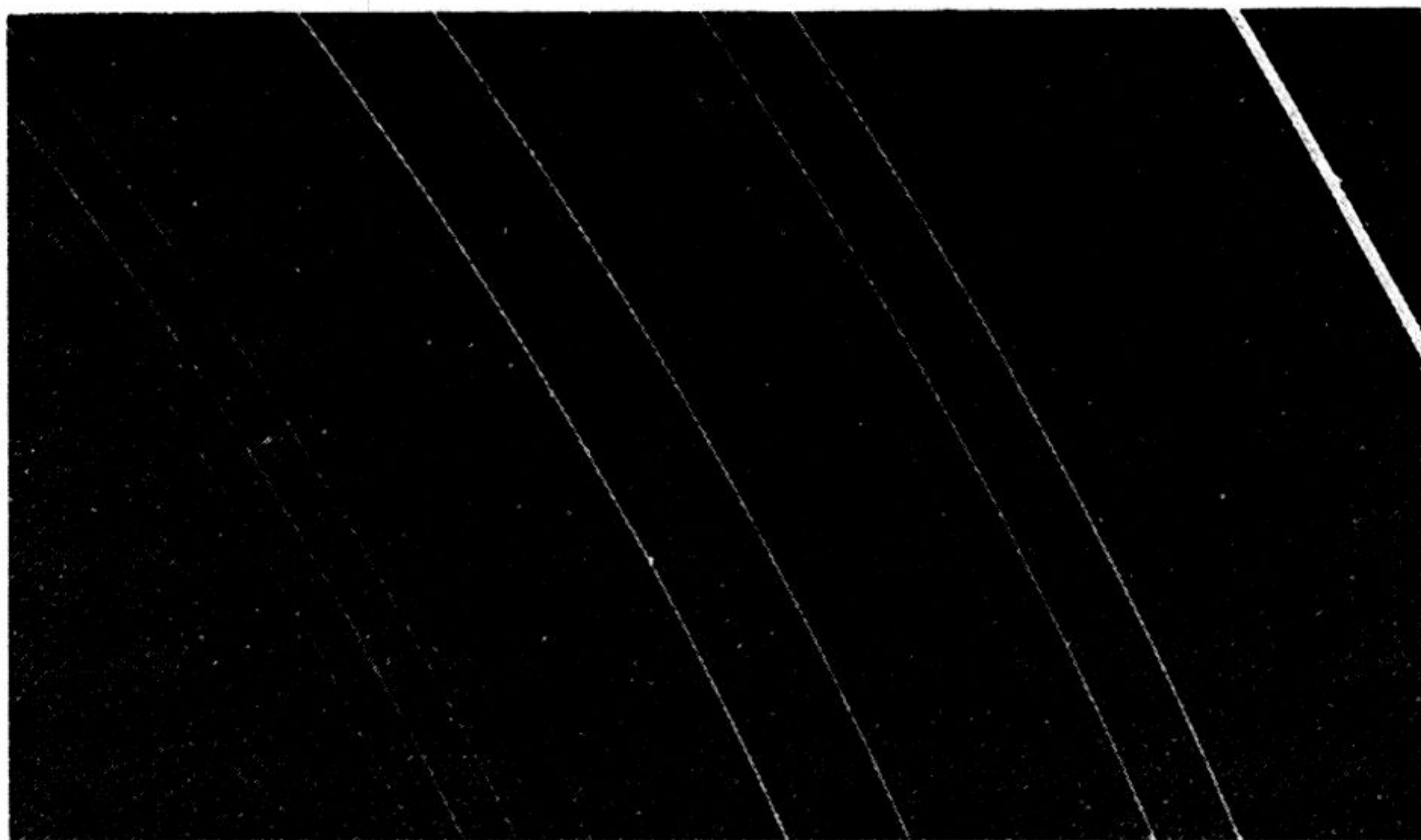
天王星はまた話が別だ。木星型の惑星としては異例のことだが、天王星は地球に似ていて、内部からの熱量はたいへん少ない。多くの点で海王星に似ている天王星が、なぜ内部熱源に乏しいのか、十分には分かっていない。私たちはこの大きな天体の内部深くで何が起きているのか、理解しているとはいえない。

天王星は横倒しになったような格好で太陽の周りを回っている。一九九〇年代のいまは、南極が太陽に温められている。二〇世紀の末に地球の観測者から見えるのはこの極だ。天王星は太陽の周りを一周するのに八四年かかる。したがって二〇三〇年代には北極が太陽と地球のほうを向き、二〇七〇年代には南極が再び太陽を向く。そのあいだ、地球の観測者は主に赤道を見ることになるだろう。

ほかの惑星はすべて軌道に対してもっと直立した格好で自転している。天王星の異常な自転の理由は定かではない。もっとも有望な考え方は、何十億年も昔、太陽系の歴史の初期のころ、地球並みの大きさで細長い長円軌道を描くさすらいの惑星が衝突したというものであ

る。そんな衝突が起こったのであれば、天王星にはたいへんな騒動が起きたに違いない。おそらくは古代の大事件の跡が残っていて、私たちはそれを発見できるかもしれない。しかし、あまりにも遠い天王星は、いまだに謎に包まれたままだ。

一九七七年、コーネル大学のジェームズ・エリオットが率いる科学者たちは偶然、土星のように天王星にも環があることを発見した。科学者たちは、ある恒星の前を天王星が通過する「星食」と呼ばれる現象を観測するために、ＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）の特別機「カイパー・エアボーン天文台」でインド洋上を飛んでいた。天王星は遠くの星に対してゆっくり動くので、このような星食は時折、しかも正確に起きる。天王星が恒星の前を通過する前に数回、通過後に数回、恒星がまたたくのを見て、観測者たちはたいへん驚いた。星食の前後で、点滅の仕方が同じだったからだ。これが、天王星を標的の中心のように見せる九重のたいへん薄く暗い環の発見につながった。

その当時知られていた天王星の五つの衛星、ミランダ、アリエル、ウンブリエル、ティタニア、オベロンは、環の外側にあることが分かった。それらはシェイクスピアの『真夏の夜の夢』『テンペスト』と一八世紀の英国の詩人アレグザンダー・ポープの『髪盗人』の登場人物にちなんでつけられた。二つはハーシェル自身によって発見された。もっとも内側のミランダは一九四八年に私の師カイパーが発見した（＊３）。天王星の新衛星の発見は、当時どんなに素晴らしいことと見なされたか、私はよく憶えている。五つの衛星によって反射され

天王星の環のクローズアップ。９本の環が写っている。土星の環と違って、天王星の環は非常に暗く、放射線を浴びた黒い有機物でできていると考えられている。一番外側の明るいイプシロン環は幅が100キロメートル弱、そのほかの環の幅は10キロ程度か、それ以下しかない。(JPL/NASA提供)

た近赤外線は、衛星の表面に水の氷があることを示していた。天王星は太陽からあまりに遠く、正午でさえ、地球の日没後より暗くても不思議はない。温度は低く、あらゆる水が凍っているはずである。

天王星とその環、衛星たちの探査は一九八六年の一月二四日に始まり、私たちの認識は大いに改められた。その日、八年半の旅の末に、ボイジャー2号はミランダに最接近し、標的の中心に迫ったのだった。その後、天王星の重力を利用して海王星へと向かった探査機は、四三〇〇枚のクローズアップ写真と、大量のデータを地球に送った。

天王星は、磁場が捕らえた電子と陽子からなる強い放射線帯で取り囲まれていることが明らかになった。ボイジャーは放射線帯を通過しながら、磁場と荷電粒子を測定した。また、高速で動く粒子によって作り出される電波がかなでる音を、その音色、音の混じり合い、微妙な違い、さらにもっとも強い状態などについて調べた。同様のことは、木星と土星、のちには海王星でも見つかった。電波の音楽は各天体独自の性格を持っていた。

地球では磁気の極と地理的な極はとても近いが、天王星では磁気の軸と回転軸は約六〇度もずれている。理由は分からない。地球でときどき起こるような南北両極の反転の時期を捕らえたのではないかという人もいる。昔の大衝突で惑星が横倒しになった結果ではないかという人もいるが、分からない。

天王星は太陽から受けるより多くの紫外線を放出しているが、これはおそらく磁気圏から漏れ出た荷電粒子が上層大気にぶつかって発生したものだろう。探査機はほどよい位置から、恒星が天王星の環を通過する際にまばたくのを観測した。その結果、ちりでできた暗い環を新たに発見した。地球から見ると、探査機は天王星の裏を通過したので、探査機からの電波信号は天王星の大気を通って地球に送られ、それによってメタンの雲の下までも調べることができた。おそらく八〇〇〇キロメートルもの厚さのある、超高温の液体の水からなる広大で深い海が、大気中に漂っていると推定される。

天王星への接近で、一番の成果は写真だった。ボイジャーの二台のテレビカメラで、私たちは一〇個の新しい衛星を発見した。天王星の雲の動きから一日の長さが一七時間であることが分かり、十余の数の環が調べられた。もっとも素晴らしい写真は、以前から知られていた五つの大きな衛星の写真だったが、なかでも一番小さいミランダの写真が圧巻だった。その表面は、断層谷、平行して走る隆起、切り立った崖、低い山々、衝突クレーター、表面物質が一度溶けてあふれだしたあとに凍った洪水の跡、などがところ狭しとひしめいていた。こんな複雑な地形が太陽から遠く離れた小さく冷たい氷の天体に広がっていようとは、想像もされていなかった。おそらくはるか昔に天王星とミランダ、アリエルのあいだで重力的に共鳴する状態になり、天王星のエネルギーによってミランダの表面が溶け、再び固まっているいまのような地形が形成されたのだろう。あるいは天王星を横倒しにしたと考えられている太

古の衝突の結果を見ているのかもしれない。あるいは、横倒しになった天王星によって、ミランダは一度徹底的に壊され、ばらばらにされ、木端微塵に吹き飛ばされて、たくさんの断片がミランダの軌道にまだ残っているのかもしれない。破片はぶつかりながら、ゆっくりと重力で引き合って寄り集まり、今日見る未完成の天体のようなミランダをつくったのかもしれない。

私には、陰鬱なミランダが写真のなかでおびえているように見える。それが暗い光の点に過ぎず、天王星の輝きのなかでほとんど見失われていた時代に、熟練と忍耐で困難を克服した天文学者によって発見されたことを思い出すからだ。生涯の途中で、それまで未知の天体だったミランダは、特異な過去の秘密を一部なりともあばかれてしまったのである。

（＊1）四〇〇〇年に一度、七つの惑星がぴったり寄り集まって見えることがある。紀元前一九五三年三月四日の夜明け前、三日月は地平線にあった。金星、水星、火星、土星、そして木星がペガスス座の大四角形のそばに首飾りの宝石のように連なった。現在はペルセウス座流星群が出てくるところに近い。気軽に空を見ていた人もくぎづけになったことだろう。これは何だ？　神々の交わりか？　ＮＡＳＡ／ＪＰＬ（ジェット推進研究所）の天文学者ケビン・パングによると、この現象が古代中国の天文学者による惑星周期の研究の始まりになったという。

過去四〇〇〇年間、太陽系の惑星が地球から見て都合のいい位置に集まったことはない。しかし、二

〇〇〇年の五月五日には、七つの惑星がすべて、空の同じ部分に見えるだろう。夜明けか夕暮れで、紀元前一九五三年のときより一〇倍も広がってはいるけれども。それでも、おそらくパーティには絶好の夜になるだろう。

（＊2）欧米共同で打ち上げる土星への探査機の名は、このカッシーニに由来する。

（＊3）彼は『テンペスト』の主人公ミランダの言葉から名づけた。「そのような人々のいる勇敢な新世界よ」。それに対し、プロスペローは、「汝には新しい」と答えた。そう、太陽系のほかのすべての世界のように、ミランダも四五億歳だ。

9

太陽系の果て

……トリトーニスの湖の　厳かなる岸辺にかけて、
……もう隠すまい、　胸軽く心安らかになる為に

エウリピデス『イオーン』（紀元前四一三年ころ）から。内山敬二郎訳

海王星は、ボイジャー2号による太陽系グランド・ツアー計画の最後の寄港地だった。ふだんなら海王星は太陽系の端から二番目の惑星で、その外側に冥王星がある。ところが、冥王星の軌道は細長い楕円形をしていて海王星より太陽に近づくことがあるので、このところ海王星が一番端に位置しており、この状態は一九九九年まで続く。太陽の温かい光からあまりにも遠くにいるので、海王星の雲の上層部でも氷点下二四〇度という寒さである。内部から湧き出てくる熱がなかったら、もっと寒くなっているはずだ。地球から見る海王星は、遠い恒星たちのあいだをゆるやかに動く。海王星からは、太陽はきわめて明るい一個の恒星にしか見えない。

どれほど遠いのか？　海王星が一八四六年に発見されてから、まだ太陽を一周していない

とはできない。あまり遠いので、何よりも速い光でさえ、海王星から地球まで五時間以上もかかる。

一九八九年にボイジャー2号が海王星に接近したとき、積まれていたカメラや分光計（スペクトロメーター）、粒子や磁場の測定器など各種の観測装置は、海王星や環、多くの衛星を必死になって調べた。海王星自身は、従兄弟の惑星といえる木星、土星、天王星と同じように巨大である。どの惑星も芯には地球のような固い塊を持っているが、精巧で厄介なガスの衣をまとって変装している。木星と土星は巨大なガス天体であるので、中心の岩と氷の塊はかなり小さい。これに対して天王星と海王星は基本的には岩と氷の天体だが、それが濃く厚い大気に覆い隠されている。

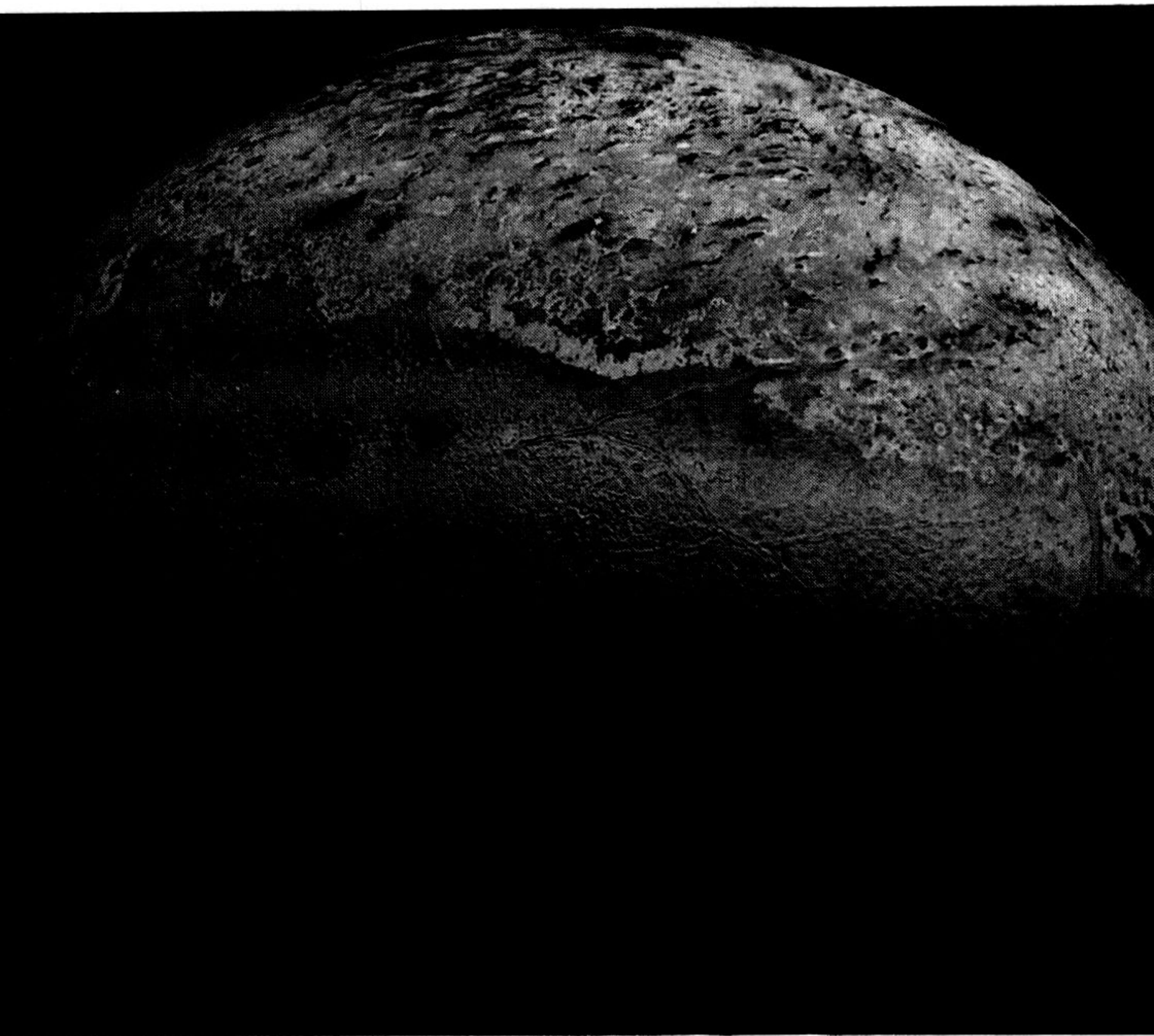
海王星は地球の四倍の大きさがある。この冷たく飾り気のない青い惑星をのぞきこんでも、大気と雲しか見ることはできず、固い表面は見えない。大気の主成分は水素とヘリウムで、わずかなメタンと、きわめてわずかなその他の炭化水素が認められる。窒素はあるらしい。メタンの結晶と思われる明るい雲は、何でできているか分からない厚く底知れぬほど深い雲の上に浮いている。雲の動きから、音速に近いほどの速度の激しい風が吹いていることが分かった。大黒斑が見つかったが、奇妙なことに木星の大赤斑とほぼ同じ緯度にあった。それにしても、この惑星の青い色は海王星という名前にふさわしい。

暗く寒く、嵐の吹き荒れる、はるか遠くのこの惑星にもまた、環があった。環は、煙草の煙のなかの細かな粒子から小型トラックくらいまでの、さまざまな大きさの無数の物質でできていて、それらは海王星の周りを回っているのだった。木星、土星、天王星というほかの木星型惑星が持つ環と同じように、海王星の環も束の間のはかない存在のようである。惑星の引力と太陽からの放射とが、太陽系の約四五億年という年齢からみたらはるかに短い時間で、これらの環を消し去ってしまうものと思われる。たちまちなくなるなら、環はつい最近できたばかりに違いない。いったい、環は、どのようにしてつくられたのだろうか。

海王星の衛星のなかで最大のものはトリトンである(*2)。トリトンはほぼ六日で海王星を一周するが、太陽系の大きな衛星たちのなかで一つだけ、公転方向が惑星の自転と逆向きである。海王星が反時計回りであるのに対して時計回りなのだ。トリトンには窒素に富んだ大気があるので、土星の衛星のタイタンに少し似ている。しかし、大気もかすみもはるかに薄いので、地表面を見ることができる。表面は変化に富んで見ごたえがある。トリトンは氷の天体である。氷は、窒素の氷とメタンの氷で、その下に水の氷と岩石があるのだろう。小天体の落下でできた盆地があり、凍りつく前には液体がそこを埋めていたと思われる。つまり、トリトンにはかつて湖があったのだ。衝突クレーター、交差する長い渓谷、降り積もった窒素の新雪に覆われた巨大な平原、メロンの皮のようにしわのよった土地、噴き出した液体が風に吹き飛ばされた末に氷の表面に積もってできたらしい長く黒く平行する筋模様。そ

れに比べて、トリトンの大気のなんと希薄なことか。地球の大気の一万分の一の厚みしかないのだ。

トリトンのクレーターはすべて、巨大な挽き臼を押しつけてできたように素朴なかたちをしており、切り立った崖もなければ浮き彫りのような輪郭もない。周期的に雪が崩れ落ち、蒸発を繰り返したかもしれないが、何十億年ものあいだ、まったく浸食がなかったように見える。だから、トリトンの形成期にできたクレーターはすべて、その後まもなく、表面全体がつくり替えられたときに、埋められ覆い尽くされてしまったに違いない。トリトンは海王星の自転とは逆方向に公転している。これは、地球に対する月や、太陽系のほかの大きな衛星では見られないことだ。もしトリトンが海王星ができたのと同じガスの回転する円盤から生まれたとすれば、トリトンは海王星と同じ向きに回るはずなのである。そうでないということは、トリトンは海王星の周囲にあったガス雲からできたのではなく、どこかほかの場所、それもおそらく冥王星よりはるかに遠いところで生まれ、たまたま海王星の側を通ったときに近づきすぎたために海王星の重力に捕らえられてしまったことを意味する。このとき、海王星の巨大な潮汐力によって表面は溶け、過去のすべての地形が洗い流されてしまったのだろう。

表面が南極の新雪のように白く輝いていて、太陽系でも最高のスキー場になりそうなところがある。そのほかの場所はほのかなピンクか褐色を帯びている。これらの色は、窒素とメ

ボイジャーが撮影した海王星の衛星、トリトン。表面は、地球に似て衝突クレーターがほとんどない。これは最近、クレーターが埋められたためである。埋めたのは、いまは凍っているメタンか窒素の海と、季節で移動するメタンと窒素の雪だろうと考えられている。ボイジャー撮影。(USGS/NASA提供)

タンとほかの炭化水素からなる新雪が、太陽からの紫外線と、トリトンもそのなかにある海王星の磁場に捕らえられた電子によって照らされているため、というのが仮説の一つである。そのような照射によって、雪は複雑で暗く赤みがかった有機物を沈殿させ、氷のソリンに変えられることは、タイタンのところですでに述べた。ソリンは生物ではないが、四〇億年前に地球で生命が誕生したときにかかわった分子のいくつかからできているものである。

冬になると、氷と雪の層が積み重なる。（地球の冬の長さはトリトンの冬に比べれば幸いなことに、わずか四パーセントしかない。）春が来ると、それらの層はゆっくりと有機分子の層にと変わり、徐々に赤みを増してくる。夏までには氷と雪は蒸発してガスとなり、トリトンを半周して冬側の半球へと移動して、その表面を再び氷と雪で覆ってしまう。しかし、赤みがかった有機分子は蒸発もせず、移動もせずに取り残される。有機層は冬になればまた雪で覆われてしまって明るく輝くが、つぎの夏には有機層の蓄積は前より厚くなっている。時間がたつにつれてトリトン表面の有機物の量は増していき、きめ細かな色模様をつくるのだろう。

筋模様は小さな暗い場所から始まっているが、これは春と夏に温められて地下の揮発しやすい雪が蒸発するからだろう。蒸発したガスは温泉のように噴き出し、表面の揮発しにくい雪と黒い有機物とを吹き飛ばす。有機物は弱い風に運ばれるが、薄い大気からゆるやかに舞い降りて地上に積もり、筋模様を生む。これが最近のトリトンで起こっている現象の一つで

あろう。

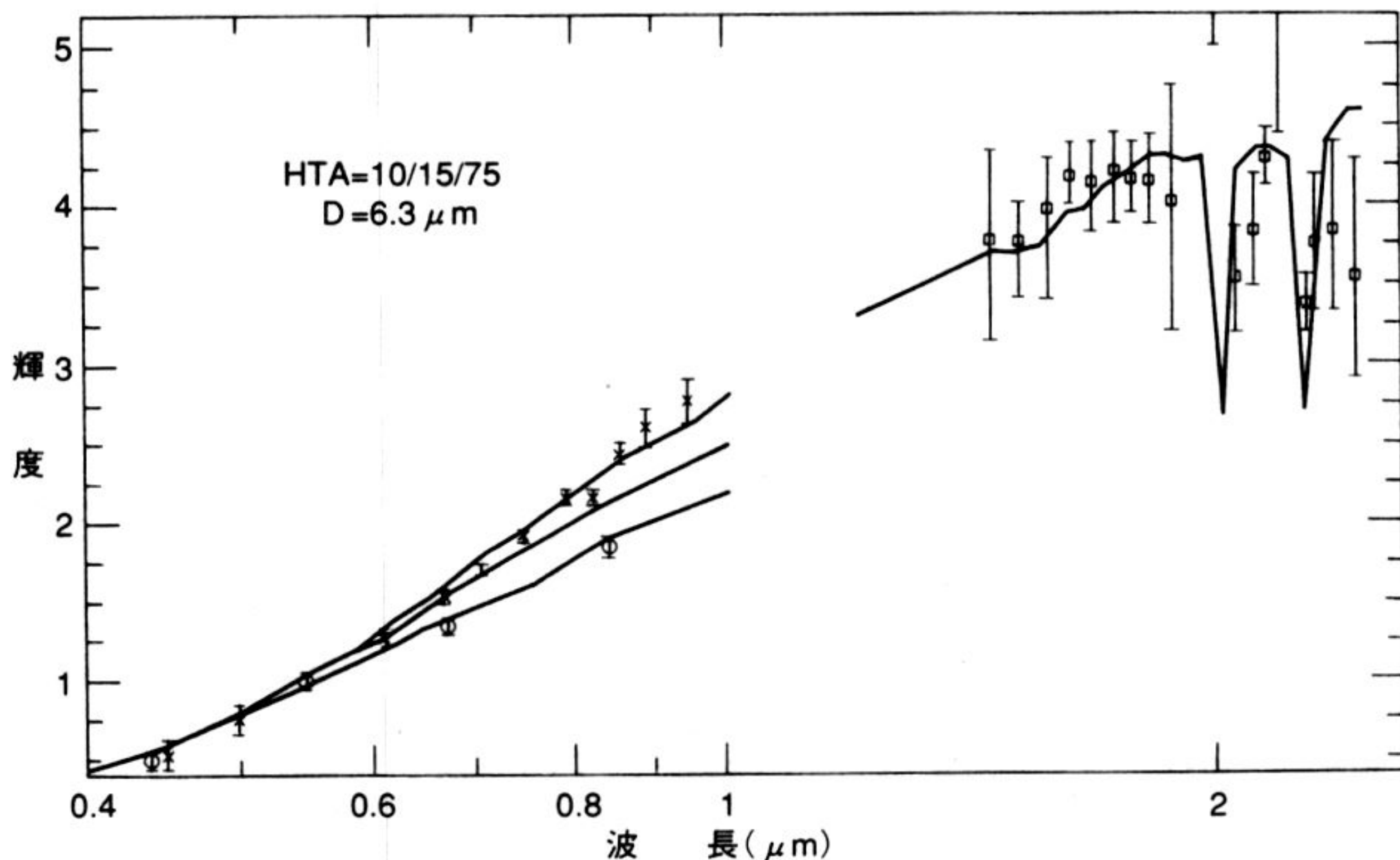
トリトンには、なめらかな窒素の氷からなる大きな極冠があってもよいのだが、窒素の雪は最近は赤道地帯に降っているようだ。雪が降ることやガスの噴出、風に運ばれる有機物、それに上空高くにたなびくかすみなどは、この天体の薄い大気からはまったく想像もされなかったものである。

なぜ、これほど大気が薄いのだろうか。トリトンが太陽から遠すぎるからだ。もしトリトンを土星を回る軌道に移せるなら、窒素もメタンもたちまち蒸発し、窒素とメタンのガスからなるはるかに濃い大気ができて、不透明なソリンのかすみをつくるだろう。それは、まさにタイタンの世界である。だから逆にタイタンを海王星のそばに持ってくれば、タイタンの大気のほとんどは凍って雪や氷となり、ソリンはなくなることはないが大気から地上に落ち、大気は澄んで地表面がくっきりと見えるようになるだろう。それは、まさにトリトンの世界である。

これら二つの天体はまったく同じというわけではない。タイタンの内部にはトリトンよりはるかに多くの氷が詰まっているが、岩石ははるかに少ないようである。タイタンの直径はトリトンのほぼ二倍もある。だが、この二つの天体を太陽から同じ距離に置けば、二つは兄弟星のように見えるだろう。米国サウスウェスト研究所のアラン・スターンはこの二つの天体を、太陽系の歴史の初期に生まれた、窒素とメタンに富む無数の小天体の仲間だろうと見

ている。まだ探査機が訪れていない冥王星も、このグループの一員であるようだ。その仲間たちは冥王星の外にあって、まだ見つかっていないのだろう。これらの仲間の薄い大気と氷の表面は、ほかに何もなくても宇宙線を浴びており、窒素に富んだ有機化合物がつくられているはずである。したがって、タイタンばかりでなく、冷たく暗い太陽系の端のいたるところに生命の材料が存在しているものと思われる。

これらとは別のグループの小天体が最近発見されたが、その軌道は海王星や冥王星の外側にあった。これらは小惑星と呼ばれることが多い。だが、太陽から遠く隔たっているために氷が短時間に気化して尾を引くことはないものの、どちらかというと彗星かもしれない。もっとも、これらの天体は並みの彗星よりははるかに大きい。冥王星の軌道から、一番近い恒星までの途中に広く分布している小天体の帯の先っぽなのかもしれない。これらの新天体も、無数の彗星からなる「オールトの雲」の仲間と思われるが、その一番内側の一帯は「カイパー・ベルト」と呼ばれる。私の恩師で、その存在を最初に示唆したジェラルド・カイパーの名をつけたものだ。ハレー彗星のような周期の短い彗星は、このカイパー・ベルトで生まれ、重力に引っ張られて太陽系の内側へと入り込み、尾を伸ばして夜空を彩ってくれる。

一九世紀末、当時は仮説に過ぎなかったが、天体をつくったブロックに相当する小さなものを「微惑星」と呼んだ。この言葉には「無限に小さいもの」というような意味があると、私は思う。つまり、何かをつくろうとしたら、そのものが無限に必要になるということであ

フォーラスは、太陽系の惑星領域の一番外側で最近発見された、小さな氷の天体である。誤差を示す線がついた×印や□印などは、異なる波長でのフォーラスの明るさを表わしている。紫外線（左端）から可視光線、近赤外線（右）にかけて、フォーラスは波長が長くなるほど明るくなっており、フォーラスが非常に赤い色を呈していることが分かる。太陽系でもっとも赤い天体は天王星や海王星の近くや、それより遠くで見つかっている。一番上の実線は、タイタンのソリンのようなものを含む固体の有機錯対と氷のアンモニアとの混合物であり、フォーラスのスペクトルとよく一致する。ピーター・ウィルソンと筆者による。「イカルス」1994年2月号に発表。

る。だが、微惑星というのは、そんなにひどい表現ではない。とはいうものの、惑星をつくるのに膨大な数のそれが必要になるはずだ。例をあげると、地球並みの大きさの惑星をつくるには、直径一キロメートルの微惑星が一兆個要るだろう。かつて太陽系には、それよりはるかに膨大な数の微惑星があった。そのほとんどが、これまでに姿を消した。太陽系の外の星間空間に放り出されたものもあれば、太陽に引きずり込まれてしまったり、あるいは惑星や衛星をつくる大事業に供せられたりした。しかし、冥王星の外側には、惑星や衛星をつくるのに使われることなく忘れ去られたままの微惑星が、いまも残っているものと思われる。大きいものは直径が一〇〇キロメートルもあるが、圧倒的大多数は一キロメートルかそれ以下で、太陽系のはずれにあるオールトの雲のいたるところに散在しているに違いない。

ある意味で、海王星や冥王星の外側にあるそれらも惑星といえる。だが、木星型惑星のように大きくないし、小さな冥王星にも及ばない。もっと大きな天体が冥王星の先の暗闇に隠れている可能性もあり、そのような天体なら当然、惑星と呼べるだろう。遠くなればなるほど、それは見つけにくくなる。目下のところ、海王星より先には存在しそうにはない。もし存在するなら、海王星や冥王星、探査機のパイオニア10号や11号、ボイジャー1号や2号の軌道が、その天体の重力ではっきりと分かる影響を受けているはずだからだ。

1992QBと1993FWという番号がつけられた新発見の彗星のような天体は、惑星とはいえない。私たちの観測の限界がこの二つにまで届いたにしても、ほとんどは太陽系の

果てに見つからぬままであるだろう。地球からは遠すぎて見ることはできず、遠すぎてそこまでたどり着くことも困難だ。しかし、小型で高速の探査機を冥王星まで送ることは、いまでもできる。冥王星とそれを回る衛星のカロンに探査機を送り込み、できたらさらにカイパー・ベルトの天体の一つに接近するというのは、よい案だと思うのだが。

天王星と海王星は、岩石でできた地球のような芯がまず固まり、ついでその重力で太陽系初期のガス雲から大量の水素とヘリウムを引きつけて、現在のような惑星になったと考えられている。最初は相つぐ衝突爆撃の時代だった。しかし、二つの惑星の重力は氷の小天体をはじき飛ばすほど強くなっていた。近づきすぎた小天体は惑星の勢力圏のはるかかなたへと投げ出され、オールトの雲のなかに住むようになった。木星と土星も同じような過程を経て巨大なガス惑星に成長した。だが、この二つの惑星の重力は強すぎた。木星と土星に近づいた氷の天体はオールトの雲にもとどまれず、完全に太陽系の外に放り出された。永久に恒星間の大暗黒のなかを漂うさすらい星となったのである。

だから、もし天王星と海王星が四五億年前に巨大な惑星にならなかったら、時には私たち人類に驚きや恐怖感を与え、内惑星や衛星たちの表面にクレーターをつくり、また時には地球上の生物に絶滅の危機をもたらした、あの美しい彗星たちは、私たちに知られることもなく恐怖をもたらすこともなかっただろう。

海王星と冥王星よりはるかに遠くにある惑星、つまりほかの恒星を回る惑星について、簡単にふれておこう。

近くにある恒星で、回転するガスとちりの円盤を持っているものはたくさん知られている。なかには、その円盤が恒星から数百天文単位（＊3）先まで延びているものもある。（太陽系の一番端の海王星と冥王星までは約四〇天文単位である。）年老いた恒星に比べて、若い恒星のほうが円盤を持っているようだ。レコード盤のように円盤の中心に穴が開いている例もある。穴は、恒星から三、四十天文単位まで広がっている。こと座の一等星ベガやエリダヌス座イプシロン星などが、その例だ。がか（画架）座ベータ星を取り巻く円盤の穴は半径が一五天文単位しかない。このちりのない地帯は、できてまもない惑星たちによって掃除されてしまった可能性がある。惑星による掃除というのは、惑星系の歴史の初期に予測されているものである。観測能力がもっとよくなれば、ちりのある地帯とない地帯との構造がよく分かり、小さくて暗すぎるために直接見ることができない惑星の存在も明らかになるだろう。分光観測によるデータは、これらの円盤が激しく回転しており、物質が中心の恒星に落ち込んでいることを示している。たぶん、円盤でつくられ見えない惑星に軌道を変えられた彗星が、恒星に近づきすぎて蒸発しているのだろう。

惑星は小さく、光を反射して光っているだけだから、恒星の輝きで消されてしまう。しかし、恒星と地球の観測者とのあいだに暗い惑星が入ったときに恒星の輝きがほんのわずか暗

くなるのを捕らえることで、あるいは見えない惑星に引っ張られて恒星の動きがかすかによろめくのを捕らえることで、惑星を見つけようとする努力が続けられている。宇宙を探る技術も、はるかに感度がよいものになるだろう。木星型惑星でも恒星の一〇億分の一ほどの明るさしかない。しかし、新世代の望遠鏡なら、地球の大気のなかでちらつく光をうまく捕らえることができ、ほんの数時間の観測でそのような惑星を見つけることができるようになるだろう。地球型惑星となると、さらにその一〇〇分の一の明るさしかなくなるが、それほど高価でない探査機を地球大気の外に飛ばすことで見つけることができるかもしれない。このような観測はまだ成功していないが、少なくとも木星型惑星が見つかるのは、そう遠いことではないと思う。

きわめて重要で、まったく思いもかけぬ最近の発見の一つに、意外な方法で分かった約一三〇〇光年先の星らしからぬ星の周りの惑星系がある。B１２５７＋１２と呼ばれるパルサーは高速で自転する中性子星である。つまり、巨大な恒星が超新星爆発で飛び散った後に残された超高密度の星である。驚くほど正確に測られた自転速度は、〇・〇〇六二一八五三一九三八八一八七秒で一回転するというものであった。このパルサーは一分間に一万回転しているのである。

この星の強力な磁場に捕らえられた荷電粒子は電波を発し、それが地球に届くのだが、一秒間に一六〇回ほど点滅する。現在はペンシルベニア州立大学にいるアレクサンダー・ボル

シュチャンは一九九一年に、この電波パルスの周期に現われる小さいが明らかな変化について、パルサーに複数の惑星が存在するための影響であるとの仮説を立てた。九四年、惑星との重力による相互作用という仮説を、周期的に現われる一〇〇万分の一秒単位の変動を数年間にわたって研究することでボルシュチャンはさらに補強した。それはまさに惑星によるものであり、星震という中性子星自身の振動によるものではないという解釈は目下、圧倒的に有力である。ボルシュチャンもいうように「反論の余地がない」ほどであり、別の太陽系が「明白に確認された」のである。ほかの方法とは違って、パルサーの周期変動を調べる手法は、至近距離にある地球型惑星は見つけやすいが、ずっと離れた木星型惑星は見つけにくい。

地球の約二・八倍の質量を持つ惑星Cは、パルサーから〇・四七天文単位の距離にあって九八日で軌道を一周する。地球の三・四倍ほどの質量の惑星Bは〇・三六天文単位にあって六七日で一周し、惑星Aはもっとパルサーに近く、〇・一九天文単位のところにあって、地球の〇・〇一五倍の質量しかない。太陽系でいうと、惑星Bはおおよそ水星の位置にあり、惑星Cは水星と金星の中間に位置する。一番内側の惑星Aは水星のほぼ半分の距離にあり、月ほどの質量である。これらの惑星がパルサーを生んだ超新星爆発にも生き残ったかつての惑星系の名残なのか、それとも超新星爆発後にできた円盤のなかから新たに生まれたものか、まだ分からない。しかし、どちらにせよ、太陽系以外にも惑星があることを私たちは知ったのである。

B１２５７＋１２が放出するエネルギーは太陽の約四・七倍もある。しかし、太陽とは違って、エネルギーのほとんどは可視光線ではなく、猛烈な荷電粒子の嵐となっている。おそらく荷電粒子は惑星にぶつかって熱していることだろう。一天文単位のところにある惑星でも表面は、水の沸点よりもはるかに高い、金星なみの摂氏二八〇度にもなるはずだ。

暗く灼熱の惑星は、生命にとって快適とはいえない。だが、B１２５７＋１２からもっと離れたところに別の惑星があるかもしれない。実はB１２５７＋１２には少なくとも一つ、もっと温度の低い天体がありそうなのだ。もちろん、そのような天体が大気を持っているかどうか、私たちは知らない。たぶん、大気があったとしても超新星爆発で剝ぎ取られてしまったに違いない。しかし、とにかく私たちは惑星系を確かに捕らえつつあるようだ。今後は、恒星の進化の終末状態にある白色矮星やパルサーなどばかりでなく、ありふれた太陽のような恒星の周囲にも、もっと多くの惑星系が見つかることだろう。

最終的には、私たちは惑星系の名簿をつくることになるだろう。地球型惑星や木星型惑星のほかに新しい型の惑星もあるかもしれない。私たちは分光器（スペクトロスコープ）やほかの手段で、このような天体を調べるだろう。そして私たちは、新しい地球と生命を捜し求めることだろう。

太陽系の木星より遠くの天体で、ボイジャーは知的生物はもとより生命存在の徴候も見つ

けることができなかった。生命の材料であり、生命の前駆物質でもある有機物質は豊富に見つかったが、知り得た限りでは生命はなかった。それらの天体の大気には酸素はなく、地球大気における酸素に対するメタンのように、化学平衡から外れたガスが大量にあるわけでもなかった。天体の多くは微妙な色を帯びていたが、地球の表面のいたるところで葉緑素が示しているように、特定の光を吸収するような地形はどこにもなかった。きわめてわずかな天体だが、ボイジャーは一キロメートルのものまで見分ける解像力で調べることができた。この解像力では、私たちの技術文明がそこにあったにしても、見つけることはできなかっただろう。しかし、それを別にしても、どこにも規則的な模様や幾何学模様、円や三角、方形、枡目などへのこだわりは見られなかった。夜側の半球に光の配列を見ることもなかった。どの天体にも、技術文明が表面を加工した跡は認められなかった。

木星型惑星は大量の電波を放っていた。それらは、磁場に捕らえられた荷電粒子から、あるいは雷から、高温の内部から出てきたものであった。それらの電波のどれも、知的生物の存在を示すものではなかったと、専門家には見えるようだ。

もちろん、私たちの考えは狭すぎるに違いない。何かを見落としているかもしれない。たとえばタイタンの大気にあった少量の二酸化炭素だ。これは窒素とメタンの大気の化学平衡から外れたものだ。この二酸化炭素はタイタンの大気に絶えず落ちてくる彗星から提供されていると私は思うのだが、そうではないかもしれない。メタンに囲まれたなかで未知の方法

で二酸化炭素を生み出している何者かが表面にいるのかもしれない。

ミランダとトリトンの表面は、ほかのどの天体とも違っている。広大な山形の地形、まじめな地質学者にさえ「ハイウエーだ」といわしめた交差する直線があった。私たちは、これらの地形を断層や衝突として理解しているようだが、もちろん、この理解は間違っているかもしれない。

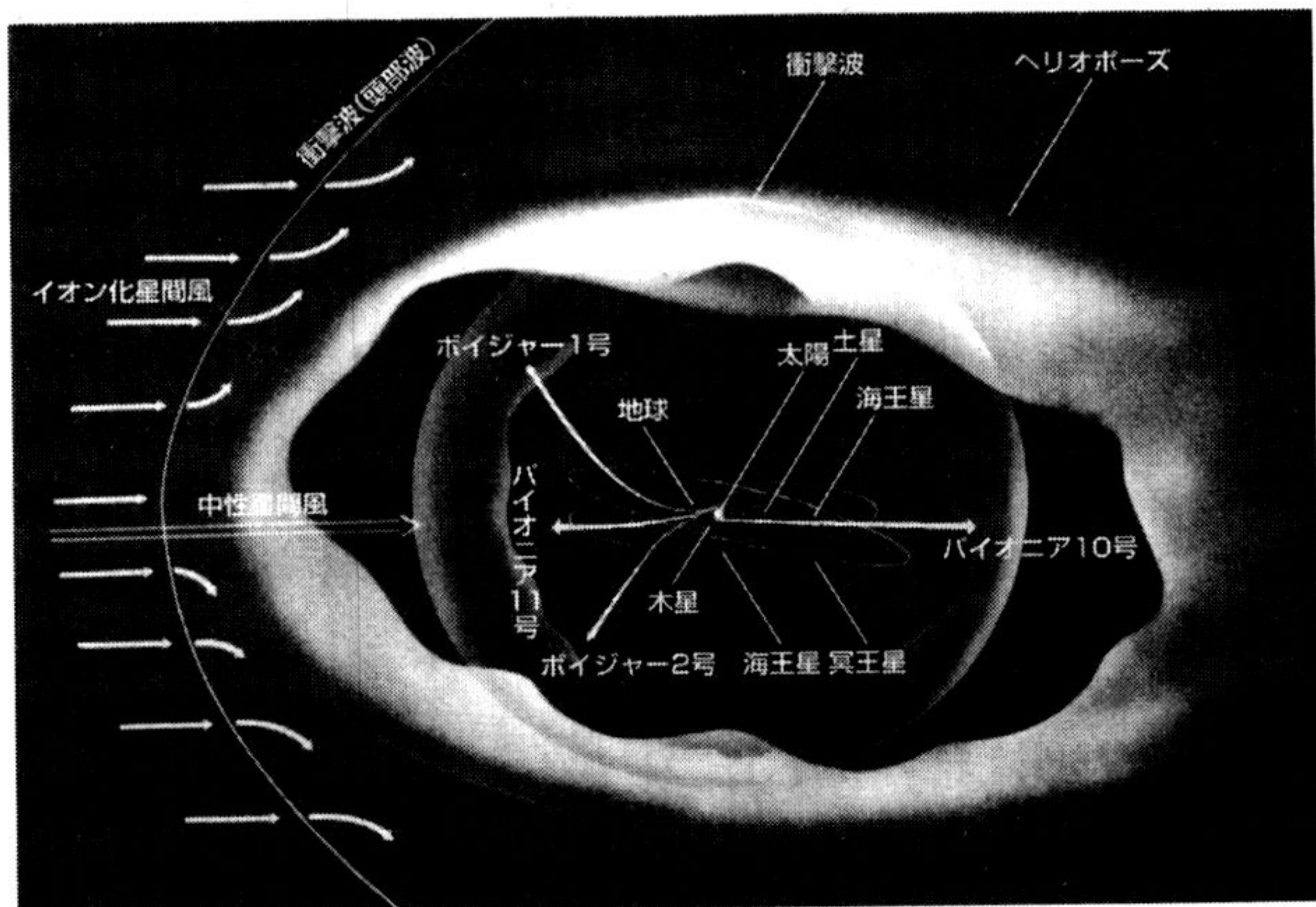
トリトンではわずかに色もついていたが、有機物質による表面の斑点は、簡単な炭化水素の氷のなかで化学反応を起こす荷電粒子によるもので、より複雑な有機物質がつくられるが、この過程に生物はまったく媒介していない。もちろん、私たちは間違っているかもしれない。私たちが木星型の四大惑星から受け取った、爆発したように強くなったり、口笛を吹くような音を出す空電の複雑なパターンは、一般的にはプラズマ物理学と熱放射で説明がつく。しかし、もちろん、私たちは間違っているかもしれない。

ガリレオ探査機が地球を通り過ぎたときに見た明確で印象的な生命存在の証拠は、数十の天体のどこにも見つけられなかった。生命存在は最後の頼みともいうべき仮説である。見たものを説明する方法がまったくないときにのみ必要とするものである。もし私が判断を下さねばならないなら、私たちの地球を除いて、私たちが調べた天体のどこにも生命は存在しないというだろう。しかし、私は間違っているかもしれない。また、正しいにせよ間違っているにせよ、私の判断は太陽系に限られたものである。おそらく今後の宇宙探査で、これまで

とは異なるもの、驚くべきもの、通常の惑星科学の手段では説明できないようなものが発見されるだろう。そうやって、ためらいながら、慎重に私たちは生物学的解釈に一歩一歩と進んでいくだろう。しかしながら、目下のところ、私たちがその道を進むことを要求するものは何もない。これまでのところ、太陽系で生命を表わすものは地球から出たものだけである。天王星でも海王星でも、生命存在の唯一の証拠はボイジャーそのものでしかなかった。

ほかの恒星に惑星を認めたとき、あるいはほぼ地球並みの大きさと質量の天体を見つけたとき、私たちはそれらの天体に生命が存在するかどうか詳しく調べるだろう。予想もしなかった天体に濃い酸素の大気があるかもしれない。地球にとっては、それはまさに生命存在のしるしである。相当な量のメタンとともに酸素大気があれば、変調された電波が発せられるのと同様に、ほぼ確かな生命存在のしるしだろう。いつの日か、この太陽系かほかの惑星系で生命が存在するというニュースが、朝のコーヒーの時間に報じられるかもしれない。

二機のボイジャー探査機は恒星を目指している。目下、太陽系から脱出する軌道を一日にほぼ一六〇万キロメートルもの猛スピードで突進している。木星、土星、天王星、海王星の重力がボイジャーを太陽の束縛から逃れることのできるスピードにまで加速してくれた。

ボイジャーはすでに太陽系を出たのだろうか？　その答えは、太陽系の境界線をどこにするかで異なる。一番外側にある大きな惑星の軌道を境界線とするなら、もう海王星のようような

太陽系は、太陽から星間空間に向けて吹き出している太陽風で包まれている。パイオニア10号と11号、ボイジャー１号と２号の４機の探査機は、太陽系の外に向かって飛びつづけており、電池がなくならないうちに、太陽からの風とほかの恒星からの風とがぶつかる境界線を観測する可能性がある。２機のボイジャーはパイオニアより高速で進んでいて、発信能力も長くもつはずだ。「EOS紀要」1994年４月19日号から。（米国地球物理学連合提供）

惑星に出合うことはないだろうから、ボイジャーはかなり以前に太陽系を出ている。もし単に一番外側の惑星というのだったら、海王星や冥王星よりも遠くにトリトンくらいの惑星があるかもしれない。もし、そのような惑星があるとしたら、二機のボイジャーはまだ太陽系のなかにいる。太陽系の惑星間粒子と磁場が、外側の星間物質と星間磁場にとってかわられるヘリオポーズを境界とするなら、ボイジャーはまだ太陽系を出ておらず、そこに着くまでにあと二〇年か三〇年かかる(*4)。しかし、もし太陽系の端を、太陽を回る天体が存在できないところ、つまり太陽の重力が及ばないところとするなら、ボイジャーは今後数百世紀ものあいだ、太陽系を抜け出すことはできないだろう。

宇宙のあらゆる方向に、弱いながらも太陽の重力に捕らえられている一兆個あるいはそれ以上の膨大な数の彗星の群れがある。これがオールトの雲と呼ばれるものだ。二機のボイジャーは、オールトの雲を通り抜けるのに、さらに二万年くらいかかるだろう。そこでやっと、ボイジャーは太陽系に別れを告げ、太陽の引力から逃れて、星間空間の大海へと踏み出す。そこから、ボイジャーの第二の旅が始まるわけだ。

送信機はかなり前に機能を失い、ボイジャーは静寂と寒冷が支配する星間の暗黒のなかを長いあいださすらうことになるだろう。そこには、ボイジャーを浸食するようなものは何もない。銀河系を回りつづけるボイジャーは一〇億年あるいはそれ以上の長いあいだ、そのままの姿を保ちつづけるだろう。

銀河系に、宇宙旅行をするような文明がほかにあるかどうかは分からない。あるとしても、どれほどたくさんあるのか、ましてやどこにあるのかは分からない。しかし遠い将来のあるとき、二機のボイジャーのうちの一機が、エイリアンの探査機に捕らえられ調べられるような機会が、ないとはいえないであろう。

そのようなときのために、ボイジャーは地球を発つ際に、ほかのさまざまなものとともに金色のピカピカ光るジャケットに入った一枚の金色のレコードを積み込んだ。そのレコードには、つぎのようなものが記録された。人類の五九の言語と鯨の声による挨拶。キスや赤ちゃんの泣き声、恋に悩む若い女性の脳波の記録などからなる一二分間の音のエッセイ。私たちの科学や文明、それに私たち自身についての一一六枚の写真。ナバホ・インディアンの夜の儀式の歌、日本の尺八による小曲、ピグミーの少女の初潮を祝う歌、ペルーの結婚式の歌、「流水」という三〇〇〇年前の中国の琴の音楽、バッハ、ベートーヴェン、モーツァルト、ストラヴィンスキー、ルイ・アームストロング、盲目のウィリー・ジョンソン、チャック・ベリーの「ジョニー・B・グード」などなど、洋の東西を問わずクラシックからフォークまで九〇分にまとめられたヒット曲の数々。

宇宙はほとんどが空っぽである。ボイジャーのうちの一機が別の太陽系に入り込むような機会はまずないだろう。すべての恒星が惑星を持っているにしても、同じことだろう。このレコードのジャケットには、すぐに理解できるだろうと私たちが考えた科学的絵文字で使い

方が説明されている。遠い将来、星間空間のはるかかなたのどこかで、エイリアンがボイジャーを見つけたら、それが読まれ、レコードの内容が分かってもらえるはずだ。ボイジャーは銀河系のなかを永遠に回りつづけるだろうから、見つけてくれる何ものかがいるにしても、レコードが見つかるまでには長い長い時間がかかるだろう。

彼らがこのレコードをどれほど理解できるか分からない。挨拶は不可解だろうし、その内容も理解できないだろう（私たちなら「ハロー」といわないのは失礼だと思うのだが）。エイリアンは私たちからはるか遠くの、別の天体で私たちとは無関係に進化しているはずだ。彼らが私たちのメッセージをすべて理解できるだろうか。心配になるたびに、私は自分を安心させるためにこのように考える。ボイジャーのレコードを文字どおりの意味において理解できないとしても、それを見つけるエイリアンは彼ら独自の価値基準を持っており、それで私たちを判断するだろう。二機のボイジャーそのものが、またメッセージである。その探査の目的や、壮大で野心的な内容、害を与える目的がまったくないこと、そしてその計画と達成度の輝かしさで、ボイジャーというロボットは雄弁に私たちを代弁してくれる。

私たちよりはるかに進んだ科学や技術があるならば、さもなければ星間空間のこんなに小さく無言の探査機を見つけることはできないはずだが、金色のレコードに記録されていることをたやすく理解してくれるだろう。彼らは、私たちの社会の不安定なこと、技術と知識との不釣り合いなことにも気づくだろう。ボイジャーを打ち上げたあとに私たちは自滅したの

だろうか、それともさらに発展したのだろうか。彼らはいぶかるに違いない。
もしかしたら、ボイジャーは捕らえられることはないかもしれない。五〇億年ものあいだ、近づくものはだれもないかもしれない。長い時間である。五〇億年もたてば、人類は絶滅するか、ほかの生物に進化しており、地球上の人工物は姿を消し、大陸もかたちを変えたりなくなったりしているかもしれず、太陽も進化して地球をカリカリに焼き上げてしまうか、粉々に分解して原子の渦に変えてしまっているかもしれない。
故郷を遠く離れて、こうした出来事にも影響されることなく、二機のボイジャーはすでになくなった天体の思い出を身につけたまま、飛びつづけることだろう。

（＊1）海王星の軌道は太陽から遠く、一周は三七〇億キロメートルもあるうえに、星間空間に飛び出すのを押さえている太陽の重力もきわめて弱く、地球の付近に比べて一〇〇〇分の一以下しかないので、一周するのにたいへん時間がかかる。

（＊2）近代的な液体燃料ロケットの発明者であるロバート・ゴダードは、ほかの恒星への宇宙旅行はトリトンで準備され、トリトンから出発すると考えた。これは、「最後の移住」と題する一九一八年の手書きの原稿に、あとからの思いつきとして一九二七年に書き込まれている。出版するのはあまりにも向こう見ずと考えられたらしく、原稿は友人に預けられ金庫に眠っていた。その表紙にはつぎのような注意書きがある。「この原稿を読むのは、まったく楽天主義者だけであろう」

（＊3）地球から太陽までの距離を一天文単位とする。約一億五〇〇〇万キロメートル。

（＊4）ボイジャーが一九九二年に捕らえた電波信号は、強い太陽風と星間空間の薄いガスとの衝突で発生するものと考えられる。一〇〇億キロワット以上という強力な信号から、ヘリオポーズは太陽から地球までの距離の一〇〇倍のところにあると推測される。太陽系を去るときの速度からみて、ボイジャー1号がヘリオポーズに突入して星間空間に入るのは二〇一〇年ころと思われる。放射能の電源がまだ生きていたら、ヘリオポーズを横切った知らせの電波が地球に届くだろう。衝撃波とヘリオポーズとの衝突で出るエネルギーは、太陽系でもっとも強力な電波を発生させる。このことは、ほかの惑星系のもっと強力な衝撃波を地球上の電波望遠鏡で捕らえられるのではないかと期待させる。

10　聖なる暗黒

深い空を見ることは、殆ど感じてしまうことなのである。

サムエル・テイラー・コールリッジの、一八〇五年のメモ帳から。渡辺美智子訳

五月の朝の雲ひとつない青い空。あるいは海に夕日が沈むときの赤や橙色の空。空は、私たちの驚異の念をかきたて、詩情を呼び覚まし、科学的な探究心へといざなってきた。住んでいる場所が地球上のどこであろうと、どんな言語を話しどのような生活習慣に従っていようと、いかなる政治体制の下で生きていようと、私たちは同じ空の下にいる。そして、その空はふつう、青い。もし、朝起きたときの空が、真っ黒だったり、黄色や緑だったりしたら……仰天するだろう。もっとも、ロサンゼルスやメキシコ市の住人は茶色の空、ロンドンやシアトルの住人ならむしろ灰色の空に慣れ親しんできたが。しかしそれでも、空の色は本来青い、と考えているはずだ。

しかし、空の色が黒や黄色、あるいは緑色である天体も、この世には存在する。空の色が、

その天体を特徴づけているとさえいえるのだ。仮に私が太陽系のどこかの天体に降り立ったとしよう。重力を感じることもなく、地上を見ることもなく、ただ太陽と空さえ見せてもらえれば、私はどこにいるのか、おそらく言い当てることができる。ふわふわした白い雲でところどころ隠されたおなじみの青い空は、私たちの地球のしるしである。フランス語には「聖なる青（sacrebleu）！」という表現があり（驚きやののしりに使われる）、英語では「善なる天（Good heavens）！」と訳されることが多い。しかし、文字どおりの意味は、「聖なる青！」である。そう、まったくそのとおり。もし、地球の真の旗印があるとすれば、それは、空の色であるべきなのだ。

鳥は空を飛び、雲は空にかかる。人は空を賛美し、日常的にその空を横切って旅をする。太陽や星の光は空にきらめく。しかし、空とはいったい何なのだろうか。何でできているのか。どこで終わるのか。どれだけあるのか。どうして、あの青色なのか。空が私たち人類にとって共通のもの、私たちの天体を特徴づけるものだとするなら、私たちは、空について、なにがしかの知識を持つ必要があるだろう。空とはいったい、何なのだろうか。

一九五七年八月、退役空軍将校であり医師でもあるデイビッド・サイモンズははじめて、空の青の上に出て、周りを見渡した。彼は単独で気球を操縦して高度三〇キロメートル（それまでの人類史上、もっとも高いところ）にまで上昇し、分厚い窓を通して、いつもと違う空を見た。現在カリフォルニア大学アーバイン校メディカル・スクールの教授であるサイモ

ンズ博士は、頭上の空は、暗く深い紫色をしていたと回想する。彼は、地上の青が宇宙の暗黒へと変わるあたりに到達していたのだ。

ほとんど忘れかけられたサイモンズのこの飛行以来、多くの国の人間が大気圏の上を飛んでいる。人間とロボットによる経験の積み重ねによって、宇宙では、昼間ですら空は真っ黒であることはもはやはっきりしている。太陽は、宇宙船を輝かせ、眼下の地球を明るく照らしている。しかし、頭上の空は夜のように真っ暗なのだ。

一九六一年四月一二日、ウォストーク1号で人類史上初の宇宙飛行をしたユーリ・ガガーリンは、彼が目にしたものを、こう書き記している。

空はまったくの暗黒である。そしてこの真っ暗な空を背景にして、星がいくぶん明るく、そしてずっとくっきりと見える。地球は、実に特徴的な美しい青色のかさ（ハロー）をかぶっており、それは、地平線を見るとよく分かる。空の色は淡い青から青、濃い青、そして紫、完全な黒へと、徐々に変わっている。実に美しい色の変化である。

日中の青い空は、空気と何らかの関係があることは明らかだ。しかし、朝食のテーブルから見る空は、いつもの青ではない。空の色は、少量の空気ではなく、大量の空気の持つ特性に違いない。宇宙から地球をよく見ると、低層大気圏と同じ厚さの、青い色をした薄い帯に

取り巻かれているのが分かるはずだ。事実、それは、低層の大気圏である。この帯の上部で、青い空が宇宙の暗黒のなかへ消えていくのが見てとれるに違いない。これが、サイモンズがはじめて入り、ガガーリンがはじめてその上から見た、境界領域である。宇宙飛行ではふつう、青い部分の底から出発し、離陸から二、三分後には完全に青い部分を突き抜けて、精巧な生命維持装置なくしては呼吸もできない無限の領域へと入る。人類は、その生存そのものを、あの青い空に負っている。空をやさしく聖なる存在と見なすのは、まさしく理由のあることなのだ。

日中、空が青く見えるのは、太陽光が私たちの周りや私たちの上の空気で反射しているためだ。雲のない夜に空が真っ暗なのは、空気で反射されるだけの十分な光源がないためだ。いずれにせよ、空気は青い光を選択的に私たちのもとへ投げかけている。では、どうやって？

太陽からやってくる可視光は、その波長ごとに、紫、青、緑、黄、橙、赤と、さまざまな色をしている。波長とは、宇宙空間をわたっていく波の、波頭と波頭のあいだの距離である。紫と青の光は波長が短く、橙と赤は長い。私たちが色として認識しているのは、私たちの目や脳が光の波長をそう読み取っているからだ。光の波長を、色ではなく、たとえば音の違いとしてとらえることだって可能なはずだが、私たちの感覚器官はそういうふうには進化してこなかった。

虹の色が全部混ざれば、太陽光のように、ほとんど真っ白に見える。これらの光の波は全部いっしょに、太陽から地球まで一億五〇〇〇万キロメートルの距離を、八分ほどでやってくる。そして、大部分窒素と酸素分子でできた大気にぶつかり、その一部は大気に反射されて宇宙へと戻っていく。また、一部は、地上に到達する前にあちこちで跳ね返って、たまたま通りかかった眼球によって捕らえられる。雲や地上で反射されて宇宙空間へ戻っていくものもある。大気のなかで光の波が跳ね返るのは「散乱」と呼ばれる。

しかし、すべての光が同じように空気の分子によって散乱されるわけではない。分子の大きさよりずっと長い波長の光はあまり散乱されない。分子の存在にほとんど影響されずにすり抜けてしまうのだ。分子の大きさに波長が近づくほど、散乱されやすくなる。自分と同じくらいの大きさの障害物に出合った波は、簡単にそれを無視して通るわけにはいかないのだ。これと同じことは、たとえば、桟橋の杭で波が散乱されたり、蛇口から浴槽に滴り落ちた水による波がオモチャのアヒルに当たった場合などにも、見ることができる。紫や青として私たちが見ている波長の短い光ほど、橙や赤として見ている波長の長い光よりも、よく散乱される。私たちが雲一つない日に空を見上げ、青空に感嘆するとき、それは実は、太陽光のなかの短波長の光の選択的散乱を見ているのだ。最初にこのことに筋の通った説明を与えたイギリスの物理学者の名を冠して、これはレイリー散乱と呼ばれる。煙草の煙が青いのも同じ理由からだ。つまり、煙の粒子の大きさがほぼ青い光の波長と等しいのだ。

では、夕焼けはなぜ赤いのか。それは、大気が太陽光のなかの青い光をすっかり散乱してしまったあとに残ったものだからだ。大気は、固体である地球の周りに重力で捕らえられている薄い気体の層なので、太陽光は日没や日の出のときには、昼間より長い経路を通ることになる。紫や青の光は、太陽が頭の真上にあるときに比べて、経路が長くなった分よけいに散乱されるから、私たちが太陽のほうを見たときに見えるものは散乱されずに残った余り、つまりほとんど散乱されない橙や赤の光、ということになるのだ。夕焼けを赤くしているのは、青空なのだ。昼間の太陽が黄色っぽく見えるのは、太陽が黄色の光をわずかに多く放射していることや、たとえ太陽が頭の上にあるときでも、青の光が地球の大気に散乱され尽くしてしまうことがあるためだ。

科学者はロマンチストではない、あるいは、科学者の合理的探究心はこの世界から美しい神秘を奪う、などといわれることがある。しかし、この世界はどういう仕組みで動いているのか、つまり、白い光はいろいろな色でできていること、色とは私たちが光の波長を認識する方法であること、透明な大気が光を反射すること、それによって光の波長を選別していること、そして、空が青いのは夕焼けが赤いのと同じ理由であること、こうしたことを理解して、わくわくしない人があるだろうか。夕焼けについて少々のことを知ったからといって、夕焼けのロマンが損なわれることはない。

もっとも簡単な分子は、ほぼ一億分の一センチと、どれも同じくらいの大きさをしている

地球(1)	火星(2)	イーダ	木星(16)
月	フォボス	ダクティル	メティス
	デイモス		アドラステア
			アマルテア
			テーベ
			イ　オ
			エウロパ
			ガニメデ
			カリスト
			レ　ダ
			ヒマリア
			リシテア
			エララ
			アナンケ
			カルメ
			パシファエ
			シノペ

土星(18)	天王星(15)	海王星(8)	冥王星(1)
パ　ン	コーデリア	ナイアッド	カロン
アトラス	オフェーリア	タラッサ	
プロメテウス	ビアンカ	デスピナ	
パンドラ	クレシダ	ガラテア	
エピメテウス	デズデモナ	ラリッサ	
ヤヌス	ジュリエット	プロテウス	
ミマス	ポーシァ	トリトン	
エンケラドゥス	ロザリンド	ネレイド	
テティス	ベリンダ		
テレスト	パック		
カリプソ	ミランダ		
ディオネ	アリエル		
ヘレネ	ウンブリエル		
レ　ア	ティタニア		
タイタン	オベロン		
ヒュペリオン			
イアペトゥス			
フェーベ			

これまでに分かっている惑星（と小惑星１個）の衛星（惑星から近い順に並べてある）

から、地球の空の色は、大気が光を吸収しない限り、大気の成分とはあまり関係がない。酸素と窒素の分子は、可視光を吸収せず、別の方向へ跳ね返すだけだ。しかし、ほかの分子のなかには、光を吸収するものがある。自動車のエンジンや工場で発生する窒素酸化物は、スモッグの暗褐色のもとになっている。酸素と窒素がくっついてできている窒素酸化物になると、光を吸収するのだ。吸収も、散乱と同様に、空の色を決める。

天体が違えば空も違う。水星、月、ほかの惑星の衛星など、小さな天体は、重力が小さいために大気をつなぎとめておくことができず、大気は宇宙空間へと逃げていってしまう。このため、ほとんど真空の宇宙が地上にまで届く。太陽光は、途中で散乱されたり吸収されることなく、地表にそのままぶつかる。こうした天体の空は、昼間でも暗い。このことを実際に目撃した人間は、これまでにわずか一二人しかいない。アポロ11号、12号、14〜17号で月面に着陸した宇宙飛行士たちである。

この本を書いている時点で分かっている太陽系の衛星は、225ページの表に示すとおりである。半分近くが、ボイジャーによって発見されている。大気を持てるだけの大きさのある土星のタイタンと、たぶんそうだろうと思われる海王星のトリトンを除き、残りの衛星の空はすべて真っ暗である。小惑星も同じだ。

金星には地球の九〇倍もの大気がある。地球のような酸素と窒素からなる大気ではなく、

二酸化炭素の大気だ。二酸化炭素もまた、可視光は吸収しない。金星の表面から見ると、雲のない金星の空はどう見えるだろう。途中に大量の大気があるため、紫や青だけでなく、緑、黄、橙、赤の光も同じように散乱される。しかし、大気があまりにも濃いために、青い光は地上まで届かない。何度も跳ね返されているうちに、宇宙空間へと戻ってしまうためだ。したがって、地上まで届く光は、赤が強くなっているに違いない。ちょうど、地球の夕焼けが空一面に広がっているように。さらに、高い雲の硫黄が空を黄色く染めているだろう。旧ソ連の探査機ベネーラの着陸機が撮った写真は、金星の空は黄色っぽい橙色であることを示している。

火星になると、話はまったく異なる。火星は地球より小さく、大気もずっと薄い。火星表面での気圧は、サイモンズが昇った地球の成層圏のあたりとほぼ等しい。よって、火星の空の色は黒か、紫がかった黒であろう、と思われた。火星の表面で撮った最初のカラー写真は一九七六年七月、はじめてこの赤い惑星に軟着陸したアメリカの探査機バイキング1号の着陸機によってもたらされた。デジタル・データはそのまま地球に送信され、コンピュータによってカラー画像が合成された。報道陣に公開された最初の写真に写った火星の空が、見慣れた青い色をしていたので、科学者は一様に驚いた。大気がきわめて乏しい惑星で、そんなはずはない。どこかで間違いが起きたに違いなかった。

カラーテレビの画像は、それぞれ赤、緑、青の三色の像を重ね合わせてできている。この

カラー合成の仕組みはビデオ投影システムでも同じで、赤、緑、青の三色の光線が投射されて、黄色も含むフルカラーの画像ができ、それを見ているのである。正しい色を得るためには、三色の像を正しく重ねて調整しなければならない。もし、ある色、たとえば青を強くしてしまうと、画像は青っぽくなってしまう。宇宙から送られてきた画像も同様に、色の調整が必要だ。そして、この色調整に際し、コンピュータ解析者にはときに、とてつもなく大きな裁量の幅がある。惑星科学の専門家ではないバイキングの解析者は、火星から送られてきた最初の写真を、「正しい」色になるよう、調整したのだった。私たちは、あまりにもこの地上での暮らしに慣れているため、「正しい」のはもちろん、青い空だと思ってしまう。写真の色はすぐに、探査機にこの目的のために積まれていた、色見本に従って修正された。その結果、空は青などではまるでなかった。むしろ、黄土色とピンクの中間のような色だった。青ではない、しかし、紫がかった黒でもなかったのだ。

これこそが、火星の空の正しい色である。火星の表面の大部分は砂漠で、砂がさびているために赤い色をしている。激しい嵐が時折、表面の微粒子を大気圏高くに巻き上げる。その微粒子が落ちてくるには長い時間がかかり、おそらく完全に落ちてしまう前に、つぎの嵐がやってくる。火星のほぼ全体を巻き込むような嵐は、ほぼ毎年（火星の一年は地球の約六八七日）起きている。こうしたさびた粒子が常に空中に漂っているため、火星で生まれ育つ将来の世代は、私たちにとっては青がそうであるように、サーモンのようなピンク色を、自然

で懐かしいと感じるようになるだろう。昼間の空をちょっと見れば、最後の大きい嵐が去ってからどれくらいたったか、見当をつけることもできるだろう。

木星、土星、天王星、海王星といった太陽系の外惑星はといえば、また違ってくる。これらの惑星には、主に水素とヘリウムでできた膨大な大気がある。固い表面はその奥深くにあって、そこまで太陽の光は届かない。そこでは空は真っ黒で、これまでもこれからも、日の出が見えることはない。永遠に星のない夜空は時折、おそらく稲妻によって照らされるのかもしれない。しかし、大気中を高く、太陽光が届くあたりまで昇っていくと、はるかに美しい眺めが待っている。

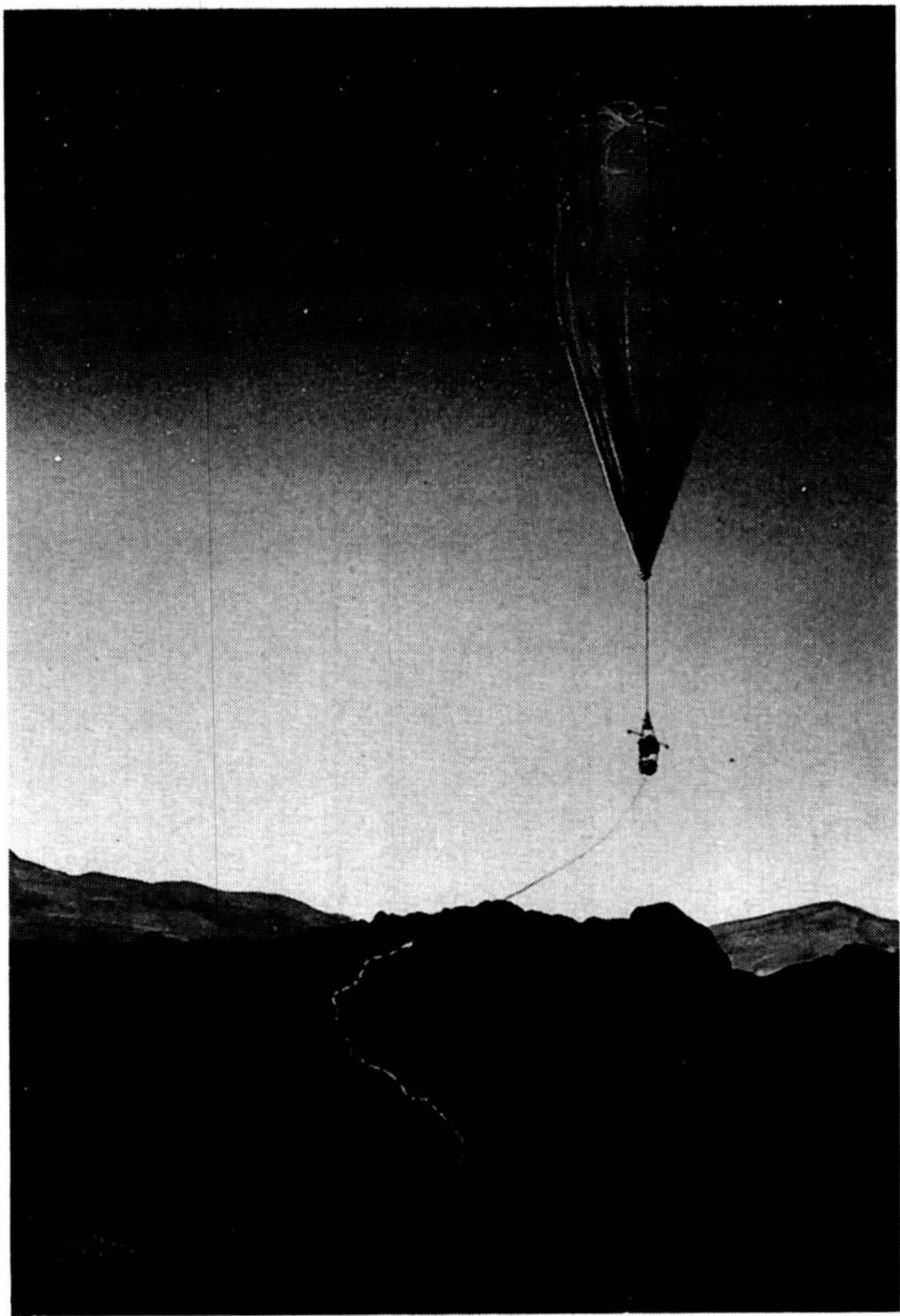
木星の大気圏の上のほうには、水ではなくアンモニアの氷の粒でできたかすみの層があり、それより上では、空はほとんど真っ暗である。そこからどんどん降りてくると、青空の見える部分があり、黄色から茶色のさまざまな色調の雲がある。雲の組成は分かっていないが、硫黄やリン、複雑な有機分子ではないかと考えられている。さらに降りていくと、空は赤茶色になる。ただし、そのあたりでは雲の厚さがさまざまで、薄いところでは、青い空がのぞいたりもする。そのさらに下では、また永遠の夜へと、徐々に戻っていくことになる。土星もそれにやや似ているが、色はずっとおとなしいものになる。

天王星やとくに海王星の空は、神秘的な重々しい青色で、それより少し白いものもある雲が、高速の風で運ばれている。主に水素とヘリウム、そしメタンでできた、比較的透明な大

気に、太陽光は届いている。メタンのなかを長く通ることによって、黄色とともに赤い光は吸収され、緑と青が通り抜ける。薄い炭化水素のかすみの層が青を少し取り除くため、高さによっては、空が緑色に見えるところがあるかもしれない。

これまでの常識によれば、メタンによる吸収と、厚い大気によるレイリー散乱とで、天王星と海王星の青は説明がつく。しかし、NASA（米国航空宇宙局）／JPL（ジェット推進研究所）のケビン・ベインズがボイジャーのデータを分析したところでは、この二つだけではどうも十分ではないらしい。大気の深いところ、おそらく硫化水素の雲と思われるあたりには、青い物質が豊富にあるという。これまでのところ、それが何であるかは分かっていない。青い物質はもともと自然界ではまれだ。科学ではいつもそうなのだが、古い謎はつぎの新しい謎にとってかわられるだけだ。いずれ、この謎の答えも見つかるだろう。

黒くない空を持つ天体には必ず大気がある。もし、地表から見ることのできる厚い大気があれば、おそらくそこを飛ぶ手段もあるだろう。私たちはいま、よその天体のさまざまな色をした空に、そこを飛行する装置を送り込んでいる。いつの日か、私たち自身も行けるだろう。

パラシュートはすでに、金星と火星の大気中で使われ、木星とタイタンでも使う計画がある。一九八五年、フランスと旧ソ連共同の二つの気球が、金星の黄色い空を飛んだ。直径四

フランスの火星探査用気球が、夜の火星に到着。「SNAKE（ヘビ）」と名づけられた、計測器のついたロープを引きずっている。この気球は1998年、ロシアの火星探査の際に打ち上げられる予定だ。マイケル・キャロルによる想像図。

メートルほどのベガ1号の気球は、測定器の一式を一三メートル下にぶら下げていた。気球は、夜の半球で膨らまされ、表面から五四キロメートルほどの高さに浮かんで、電池がなくなるまで、地球時間でほぼ二日にわたってデータを送ってきた。その間、気球が金星表面を飛んだ距離は一万一六〇〇キロメートルに達した。ベガ2号の気球もほぼ同様の機能を持っており、金星の大気が、空気ブレーキとして使われた。これは、濃い大気との摩擦によって、探査機マゼランの軌道を変えるのにも使われ、また、火星に接近する探査機を軌道機にしたり着陸機にしたりするのに欠かせない、将来の技術である。

一九九八年に打ち上げが予定されているロシアの火星探査計画には、フランス製の巨大な熱気球が含まれている。巨大な電気クラゲのように見えるこの熱気球は、気温の低い薄明の時刻に火星表面に向けて下降し、つぎの日に太陽が出て気温が上がってきたら、高く昇るよう設計されている。風が強いので、もしすべて計画どおりにいけば、北極の上をぴょんぴょん跳びはねながら、毎日数百キロメートルを移動するはずだ。朝早く、地表に近づいたときには、高解像度の写真やその他のデータをとる。気球には、観測装置を下げたガイドロープがついており、気球の安定のために重要な役割を果たしている。これは、カリフォルニア州パサデナにある民間組織「惑星協会」によって、計画され、設計された。

火星表面の気圧は、地球の高度三〇キロメートルとほぼ等しく、そこで飛行機を飛ばすことは可能だ。たとえば、U2やSR71ブラックバードは日常的にこうした気圧の低いところ

に接近している。火星用には、さらに大きい翼のついた飛行機が考案された。

飛行の夢と宇宙旅行の夢は双子のようなものだ。似たような空想で始まり、似た技術に依存し、ほぼ並行して発展を遂げてきた。地上での飛行が、実用的、経済的な限界に近づいてきたいま、別の天体のさまざまな色をした空を飛ぶという可能性が浮上してきた。

金星の硫黄の色をした空、火星の赤い空から天王星のアクアマリン、海王星の、地球とはまた違う魅惑的な青まで、太陽系の各惑星に、その雲や空の色に基づいた色を割り当てることが、いまでは可能である。聖なる黄色、聖なる赤、聖なる緑。これらはいつの日か、太陽系における人類の前進基地の旗を飾ることだろう。そのころには、フロンティアは太陽からほかの恒星へと広がり、探検者は果てしない暗黒の宇宙に取り囲まれている。聖なる暗黒に。

11

宵の明星、明けの明星

別有天地非人間（別に天地の人間に非ざる有り）

李白「山中問答」（七三〇年ころ）から。漆山又四郎訳

太陽が西の地平線の下へ沈むとまもなく、たそがれの空に明るく輝くその星を見たことがあるだろう。その一番星に、夜ごとに託された願い事は、時にはかなうこともあった。太陽が昇る前の朝焼けの東の空に、その星を見つけたこともあるだろう。太陽と月を除けば、全天でもっとも明るく、宵の明星、明けの明星と呼ばれているその星が、地球と同じような天体であることも、その軌道が地球の軌道よりも内側にあるために太陽から遠くには離れないことも、私たちの祖先は知らなかった。しかし日没の直前や日の出の直後、そばにある白い雲と比べたとき、金星が淡いレモンイエローに見えることには気づいていた。

どんなに大きな望遠鏡、たとえ地上で最大の光学望遠鏡をのぞいてみても、金星について詳しく知ることはできない。何カ月も観測を続けたとしても、そこには月のように規則正し

くかたちを変えるのっぺらぼうな姿があるだけだ。三日月の金星、満月の金星、下弦の金星、新月の金星に、大陸があるのか、あるいは海があるのかは、まったく分からない。

はじめて金星を望遠鏡で見た天文学者は、この天体が雲で覆われていることをすぐに理解した。その雲はほとんどが濃い硫酸の粒子からできていて、少量存在する単体の硫黄のために黄色に見えることを、現在の私たちは知っている。硫酸の雲は金星の表面からかなりの高度にある。可視光では雲の頂上から約五〇キロメートル下にあるとされる金星の表面を見ることはできず、私たちは何世紀にもわたっておおまかな推測をするだけだった。

いかに厚い雲であっても切れ間があって、辛抱強く観測を続けていれば、日々少しずつ、ふだんは隠されている表面の謎が明らかにされていくだろうと、誰しも考えるに違いない。そしてやがて推測の時代は終わる、と。地球は表面のほぼ半分が雲に覆われている。初期の金星探査では、私たちはなぜ金星が一〇〇パーセント雲に覆われているのか、その理由が分からなかった。もし、雲が九〇パーセントだけだったら、あるいは、たとえ九九パーセントであったとしても、束の間の晴れ間があったなら、私たちに多くの情報を与えてくれただろう。

一九六〇年と六一年に、米国最初の金星探査機マリナー1号と2号が計画された。私を含め、多くの人が探査機にはビデオカメラを搭載して、映像を電波で地球へ送ることを考えた。同じ技術は、数年後の月探査で、レンジャー7、8、9号が墜落しながら写真を撮影する際

にも使われることになっていた。そして最後のレンジャー9号はアルフォンスス・クレーターに衝突し、写真を撮影した。しかし、金星を探査する時間は短く、カメラは重かった。カメラは本当の科学観測装置ではないと主張する人たちがいた。カメラは、そこから得られる情報の見た目がはっきりしているうえに派手で一般受けはするが、純粋に科学的な疑問をきちんと解くことはできない、というのである。私自身は、厚い雲に切れ間があるかどうかが知りたいところだった。私は、カメラは私たちが予想もしていないような疑問にも答えることができると主張した。そして写真こそは、一般の人々に無人探査の素晴らしさを知ってもらう唯一の方法だ、とも主張した。何といっても、計画は、市民が納めた税金で賄われるのだから。しかし結局、カメラは積まれなかった。そして、この決定は、それなりに正しかった。なにしろ、最接近した際に、タイタンと同様、金星の雲にも可視光で分かるような切れ間はないことが明らかになったのだから。これら二つの天体は永久に雲に閉ざされたままなのである（＊1）。

紫外線を使うともう少し詳しいことが分かる。しかし、紫外線で見えるのは雲の上層だけで、その下にはさらに厚い雲の層がある。上層の雲は金星自身の自転よりもはるかに速い超高速度で回転している。紫外線でも、金星の表面を見ることはまるでできない。

金星の大気が、地球の大気に比べてとんでもなく厚いことが明らかになると、たとえ雲に切れ間があったとしても、可視光では表面を見ることができないことがはっきりした。金星

の表面での気圧は地球表面の九〇倍もあったのである。太陽の光はほとんど濃い大気の層を透過して表面まで到達できず、反射もしない。もし、透過できたとしても、大気の下層では、光子（フォトン）はおびただしい数の分子との衝突を繰り返してねじ曲げられ、表面の本当の姿を描きだすことはないだろう。それはまるで、極地の猛吹雪で起こる「ホワイトアウト」のなかにいるようなものだ。ところが、この強いレイリー散乱の効果によって光の波長が短くなるため、近赤外線でなら、雲の切れ間があれば、その表面を見ることができるだろうことが、簡単な計算で分かる。

そこで、一九七〇年、ジム・ポラック、デイブ・モリソンと私は、テキサス大学のマクドナルド天文台へ行き、金星を近赤外線で観測することにした。私たちは乳剤の感度を「超増感」した。望遠鏡を金星に向けて露光する前に、古きよき時代のガラスの写真乾板（＊2）をアンモニアで処理し、温めたり光を当てたりもした。そのころ、マクドナルド天文台の地下室にはアンモニア臭が漂っていたものだ。私たちはたくさんの写真を撮った。しかし、これといったものは何も写らなかった。観測の方法が間違っていて、もっと長い波長の赤外線で調べるべきだったのかもしれない。あるいは、金星の雲は近赤外線にも不透明なのかもしれない。私たちは、そう結論した。

二〇年以上もたってから、探査機ガリレオが金星のそばを通過し、私たちの粗末な写真乾板を使った試みよりもう少し長い波長の赤外線で、より高感度・高分解能での撮影に成功し

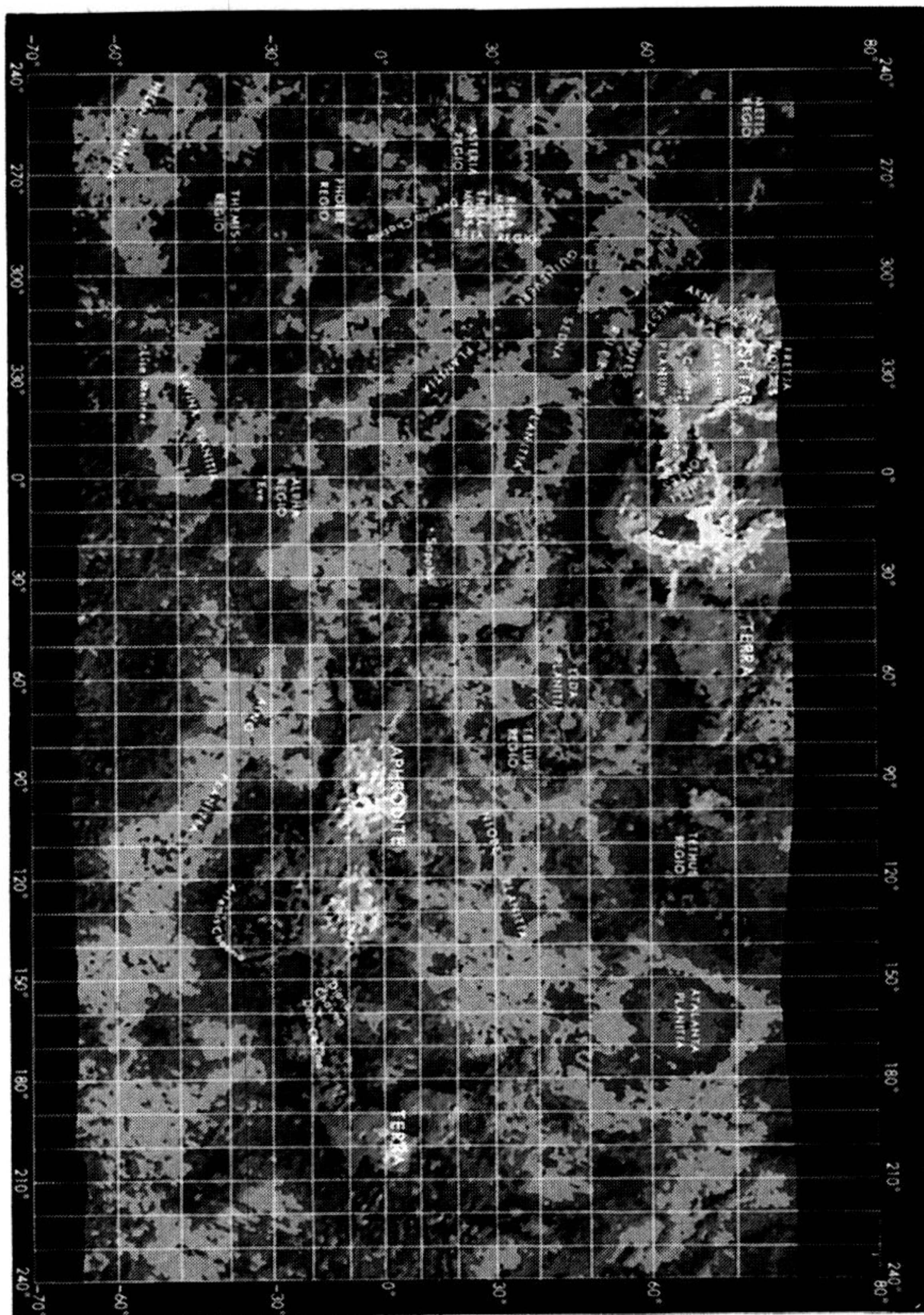
た。ガリレオは大きな山脈を写し出したが、実は、私たちはすでにレーダー観測によって、それらの存在を知っていた。電波は、金星の厚い雲と濃い大気をやすやすと通り抜け、表面で反射し、地球に戻ってくる。それらを集めれば、地形図をつくることができる。最初は主に、米国カリフォルニア州のモハーベ砂漠にあるＪＰＬ（ジェット推進研究所）のゴールドストーン地上追跡局のレーダーとプエルトリコにあるアレシボ天文台の電波望遠鏡を使って、コーネル大学が試みた。

これを受けて、レーダー観測装置を持った米国のパイオニア12号と旧ソ連のベネーラ15号と16号、米国のマゼランなどの探査機が金星の周回軌道に送り込まれ、表面をくまなく調べて地形図がつくりあげられた。これらの探査機は、レーダー信号を金星表面に向けて発射し、表面の各地点からレーダー信号がどのように反射されるか、そして戻ってくるまでにどのくらい時間がかかるか（山脈では短く、谷では長くなる）を精密に測定し、金星の全表面の詳細な地図を辛抱強く、入念に作製していったのである。

その結果、この天体は溶岩流によって形成され、いくぶんかは風化しているが、独特の地形をしていることが明らかになった。このことは次の章で詳しく述べる。このようにして、金星の雲と大気は私たちにとって不透明ではなくなり、無人探査機がこの天体をつぎつぎと訪れている。私たちの金星における経験は、ほかの天体へも応用できる。とくにタイタンでは再び、レーダーが不透明な雲を突き抜けて、その下に隠された謎の表面についての情報を

もたらし始めている。

金星は長いあいだ、地球の双子の姉妹のような天体であると考えられてきた。金星は、私たちの地球にもっとも近づいてくる惑星であり、質量も大きさも密度も重力も、ほぼ同じである。地球より少し太陽に近いが、その明るい雲は地球の雲よりも太陽光をよく反射する。その不透明な雲の下に、地球と同じような世界が広がっていると想像しても、何の不思議もない。かつて科学者たちは、さまざまな光景を想像した。たとえば、地球上の石炭紀のように悪臭を放つ沼沢地があり、そこを怪物のような両生類が泳いでいるとか、表面全体が砂漠になっているとか、広大な石油の海だとか、石灰岩で覆われた島がそこここにあるようなソーダ水の海だとか。しかし、これらの金星像（最初のは今世紀初め、二番目は一九三〇年代、残りの二つは一九五〇年代の中頃に考えられた）は、それぞれの時代の乏しいデータに縛られたもので、科学的ロマンの域を出なかった。

一九五六年、コーネル大学のH・マイヤーたちによって「アストロフィジカル・ジャーナル」に一つの報告が発表された。彼らは、ワシントンDCにある海軍研究所の屋上に新しく完成した電波望遠鏡を金星に向け、地球にやってくる電波の強さを測定した。これは電波を金星に向けて発射し反射してくるのを調べるレーダーではなく、金星自身が宇宙空間に出している電波を測定するものだった。金星は、背景にあるほかの遠い恒星や銀河などよりも、

厚い雲を通して、地上からとパイオニア12号によるレーダー観測にもとづいて作製された金星の地形図。右上、北緯65度、経度330度付近にあるのが、ラクシュミ平原（本来の向きと90度回転させて使用したため、右が北となっている）。(USGS/NASA提供)

ずっと強い電波を出していた。これ自体は別に驚くことではなかった。絶対零度（摂氏マイナス二七三度）以上の物体はすべて、その温度に相当する電磁波を放射しており、そのなかには電波の領域のものも含まれる。たとえば、およそ摂氏三五度の体温に相当する明るさで輝いている人間が、もし、もっと冷たいものに囲まれていたら、高感度の電波望遠鏡はその人があらゆる方向に放出しているかすかな電波を検出するはずだ。私たち一人ひとりが電波源なのである。

マイヤーの発見で驚くべきことは、金星からの電波が示す温度が摂氏三〇〇度以上もあり、地球の表面温度よりも、赤外線観測で測定された金星の雲の温度よりもはるかに高いことだった。金星にはふつうの水の沸点より少なくとも二〇〇度も熱い場所があるというのである。これはいったい何を意味するのだろうか。

すぐに大論争が始まった。私は、電波が示す高温は、そのまま熱い表面を示していると主張した。そして、高温は、大量に存在する二酸化炭素と水蒸気による温室効果のためだと説明した。つまり、雲を透過した太陽光が金星の表面を温めるが、表面から放射される赤外線は、二酸化炭素と水蒸気が赤外線に対して不透明なので、宇宙空間に出て行けないからだ。二酸化炭素だけならば、赤外線の波長域は吸収されるが、わずかに「窓」が開いていて、そこから熱が宇宙空間に放出されるので、表面は冷やされる。しかし、水蒸気がこの「窓」の波長の赤外線も吸収してしまう。わずかな水蒸気があるだけで、二つの気体は助け合って、

ほとんどすべての赤外線を吸収してしまう。それはまるで、お互いの隙間と隙間をうまく埋めた二列の柵のようである。

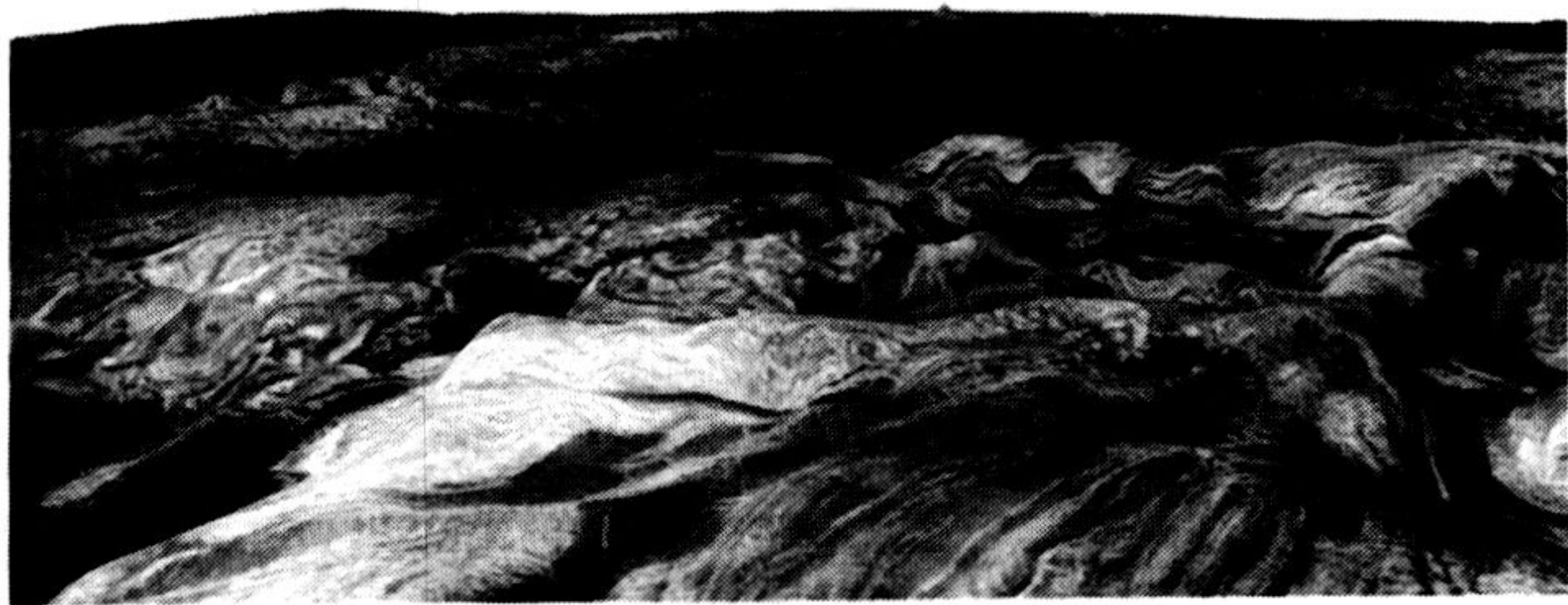
これとはまったく異なる解釈もあった。電波が示す高温は、金星の表面からのものではなく、表面は温暖で快適だというものである。その電波は、金星の大気のある部分か、金星を取り囲む磁気圏から放出されているとして、雲のなかの水滴の放電や、たそがれや朝焼けのときに上層大気で起こるイオンと電子の再結合による放電が候補としてあげられた。非常に濃い電離層が存在し、そこで自由電子がお互いに加速されて電波を出す（自由―自由放射）と、主張する人たちもいた。この説の提唱者の一人は、この高い電離状態は平均して地球の一万倍もの放射能によるもので、ひょっとすると金星では最近核戦争があったのかもしれない、とまで主張した。木星の磁気圏から出ている電波が発見されたことを考えると、金星でも、強い磁場に捕らえられた荷電粒子がつくっている広大な磁気圏から電波が出ていると考えるのも、自然であった。

一九六〇年代に発表した一連の論文（その多くはジム・ポラック（＊3）と共同執筆であった）のなかで私は、熱い電磁波を出す領域と冷たい表面という矛盾した金星モデルを厳密に分析した。それまでに、私たちは二つの重要な新しい糸口を得ていた。一つは金星の電波のスペクトル、もう一つは電磁波の放出は金星面の縁よりも中心部で強いことを発見したマリナー2号の観測である。一九六七年までに、私たちはある程度の自信を持って、金星の表面

温度は摂氏四〇〇度以上で、地球とは似ても似つかない焦熱地獄であると結論した。しかし、それはあくまでも推論であり、いくつもの仮定が含まれていた。私たちは直接の観測を待ち望んでいた。

一九六七年一〇月、スプートニク1号打ち上げ一〇周年を記念した旧ソ連のベネーラ4号は金星の雲のなかに観測用カプセルを投下した。カプセルは、高温の大気下層部のデータを送信してきたが、表面まで観測を続けることはできなかった。その一日後、金星に接近した米国の探査機マリナー5号も、大気を通して電波を送ってきた。大気の奥深くなるにつれて信号が弱まっていく様子から、大気の温度についての情報が得られた。二つの探査機が得たデータはいくぶん違ってはいたものの（それはのちに解消された）、どちらも金星の表面が非常に高温であることをはっきりと示していた。

それ以来、旧ソ連のベネーラが相ついで、また米国のパイオニア12号からも数個の観測装置が金星大気の深みに突入し、表面に着陸して、カプセルの外に突き出した温度計で表面と表面近くの温度を直接測定した。結果はおよそ摂氏四七〇度だった。電波望遠鏡の測定誤差と表面からの放射のばらつきを考えれば、かつての電波による観測値と探査機によって直接測定された測定値とは、よく一致していたといっていいだろう。

初期の旧ソ連の着陸機は、私たちの地球と同じような大気を想定してつくられていた。そのため、金星の高圧大気によって、まるで腕相撲のチャンピオンに握りつぶされた缶のよう

上　姉妹の惑星。海をはがした地球と、厚い大気を除いた金星。この２つの惑星は、初めは非常によく似た環境だったが、まったく異なる方向へと進化を遂げた。(JPL/NASA提供)

下　溶岩流によってできた金星のオブダ地域の山脈。高低を22.5倍に強調してある。探査機マゼランのデータによる。(JPL/NASA提供)

に、あるいは第二次世界大戦当時にトンガ海溝に潜った潜水艦のように、押しつぶされてしまった。その後、ベネーラの着陸機は最新の潜水艦と同様に厳重に強化され、灼熱の表面への着陸に成功した。大気の濃さと雲の厚さが明らかになったとき、旧ソ連の設計者は金星の表面は真っ暗闇の世界ではないかと考えた。ベネーラ9号と10号には投光機が備えられたが、結局それは必要なかった。雲の頂上に届いた太陽光は、ごく一部ではあるが、表面まで達していて、そこは地球の曇の日くらいの明るさだった。

金星の表面が熱いことを認めようとしない人たちは、思うに、私たちにもっとも近い惑星が生命を育むのに適していて、将来の探査対象となり、そしておそらくは長期にわたって人類が植民できるという希望的な憶測を否定したくないのだろう。かくして、金星には石炭紀のような沼沢地も、広大な石油の海も、ソーダ水の海もなかった。そのかわり、重苦しく雲が垂れこめる焦熱地獄があった。砂漠はあったが、そのほとんどは溶岩の海が固まったものだった。私たちの願いはかなわなかった。この天体の魅力は、惑星探査の初期に比べて、すっかり失われてしまったようだ。当時の私たちは、その乏しい知識に基づいて、金星にはあらゆる可能性があり、どんなロマンチックな願いでも実現できると思っていたからである。

私たちが今日、金星をよく知っているのは、多くの探査機のおかげだが、その最初はマリナー2号だった。マリナー1号は打ち上げに失敗し、足を挫いた競走馬を安楽死させるよう

に、爆破された。マリナー2号は素晴らしい働きを見せ、金星の環境に関する初期の貴重なデータを提供してくれた。また雲の性質についても赤外線観測を行なった。金星までの航行中に、太陽風を発見した。太陽風とは太陽から宇宙空間へと吹き出している荷電粒子の流れで、惑星の磁気圏を満たし、彗星の尾を後方へ吹き流し、太陽系のずっとかなたで星間風とぶつかるヘリオポーズまで広がっている。マリナー2号ははじめての成功した惑星探査機であり、惑星探査の時代の到来を告げる探査機であった。

マリナー2号はいまも太陽の周りを回る軌道のどこかにいて、数百日ごとに金星軌道まで戻ってくる。金星とそこで会うことはほとんどないのだが、いつの日か金星に再接近し、その重力で加速されて、まったく違う軌道に移るだろう。そして最後に、マリナー2号は、かつて微惑星がそうだったように、ほかの惑星によって掃き出され、太陽へと落ちていくか、太陽系の外へはじき飛ばされることになるだろう。

そのときまで、惑星探査時代のさきがけとなった、この小さな人工の惑星は、太陽の周りを黙々と回りつづけるわけだ。それはちょうど、コロンブスのサンタ・マリア号がスペインのカディスから西インド諸島のイスパニョーラ島までの大西洋横断の航海を、幽霊となった船員を乗せていつまでも繰り返しているようなものだ。真空の惑星間空間を飛ぶマリナー2号は、私たちの何世代ものちまでも古びてしまうことはないだろう。

私は宵の明星と明けの明星に願いをかけようと思う。二一世紀の後半、人類の乗った大型

の宇宙船が重力を利用して太陽系の外へと旅立つとき、この放棄された小さな探査機をどこかで見つけて引き上げ、火星か、あるいはエウロパかイアペトゥスにつくられる「初期宇宙技術博物館」に展示することができますように、と。

（＊1）タイタンの場合は、主にエーロゾルでできた層の上にかすみの層があることが分かった。だから金星は、太陽系で唯一、探査機の可視光カメラが何も重要なものを発見しなかった天体ということになる。幸運なことに、私たちは現在、訪問したほとんどすべての天体の写真を手にしている。

（＊2）現在では、多くの望遠鏡にはＣＣＤ（電荷結合素子）やダイオードが用いられ、コンピュータで処理される。これらの新しい技術は一九七〇年代に天文学に導入された。

（＊3）ジェームズ・Ｂ・ポラックは、惑星科学のすべての領域で重要な貢献をした。彼は私の最初の大学院生で、以来ずっと共同研究者であった。彼はＮＡＳＡ（米国航空宇宙局）のエームズ研究センターを惑星科学の研究センターとして、また惑星科学者をめざすポストドクトラルの研修センターとして、世界の中心的研究機関に改造した。一九九四年、もっとも充実していたときに、彼は亡くなった。

12　溶ける大地

テラ島とテラシア島のなかほどで、海から突如、火が噴き上げた。
火は四日間も燃えつづけ、海は沸騰して赤々と輝いた。
火の中から一つの島が現われ、梃子で持ち上げられるように徐々に高くなった……。
噴火が止んだあと、海上支配の最盛期にあったロードス島の人々は、
真っ先にその新島に上陸して、神殿を建てた。

ストラボン『地誌』(紀元前七年ころ)から

地球のいたるところに、人目をひく珍しい形の山がある。子どもにだって分かるその特徴はまず、頂上はとがっておらず、平らになっていることだ。頂上に登るかその上を飛べば、穴かクレーターがあるのが見える。小さいものもあれば、ほとんど山全体がクレーターというのもある。水が満ちている場合もあるが、もっと驚くような液体が入っていることもある。気をつけてその縁に近づくと、黄色や赤色の液体が煮え立つ大きな湖があって、火が噴き出しているのが見える。頂上の穴は「大釜」（カルドロン）からとったカルデラと呼ばれる。山はもちろん火山（ボルケーノ）で、これはローマの火の神ウルカヌスからきた名である。地球上には約六〇〇の火山が見つかっているが、海底には、まだ知られていないものもあるだろう。

たいていの火山はまったく安全に見える。山腹には自然の草や木々が連なり、段丘で飾られていることもある。ふもとには村落や神社が寄り添っている。しかしそれでも、何世紀も休んだのちに、火山は何の前触れもなく噴火を始めるのである。大量の石や灰が空から降り注ぎ、溶岩流が山腹を流れ下ってくる。閉じ込められた巨人や悪魔が出ようとしてもがいているからだ、と人々は考えた。

記憶に新しいのは米国のセントヘレンズ山とフィリピンのピナツボ山の噴火だが、歴史を通じていくらでも例はある。一九〇二年にはカリブ海に浮かぶマルチニク島で、高温の熱雲がプレー山の斜面を下ってサンピエールの街を襲い、三万五〇〇〇人の犠牲者を出した。ネバドデルルイス火山の一九八五年の噴火は、大量の泥流が二万五〇〇〇人以上のコロンビア人を殺した。一世紀のベスビオ山の噴火では、ポンペイとヘルクラネウムの住民が灰で埋められ、大胆にも噴火の様子を調べようと登山したローマの博物学者、大プリニウスは火山ガスで死んだ。(噴火で死んだ学者は大プリニウスだけではなく、一九七九年から一九九三年まででも、一五人の火山学者が各地の噴火で亡くなっている。)テラ島とも呼ばれる地中海のサントリーニ島は、海面下にある火山のカルデラの縁の一部だけが水面上に顔を出している島である(*1)。一説によると、紀元前一六二三年のサントリーニの噴火はクレタ島付近のミノア文明を破壊し、古代文明における勢力の均衡を変えてしまったという。プラトンが「わずか一昼夜の不幸」で文明が破壊されたと語る、アトランティス島の伝説は、この災害

がもとになっているのかもしれない。噴火を神の怒りの発現と考えるのは、当時はごく普通のことだったにちがいない。

火山は当然のことだが恐怖や畏怖をもたらす。アイスランドのヘクラ山の噴火で、頂上からあふれた軟らかい溶岩が激しく動き回るのを目のあたりにした中世キリスト教徒は、呪われた魂が地獄の入り口で待っているのだと考えた。このときの様子は「恐ろしいうなり声、泣き声、そして歯ぎしり」「憂鬱な叫びと騒々しい嘆き」などと記録されている。ヘクラ山のカルデラのなかの煮えたぎった赤い湖と硫黄のガスは、まさにこれが地下の世界であり、（天国と対照的な）地獄についての言い伝えはその通りだった、と人々に確信させたに違いない。

事実、火山は人類が住むごく薄い表層からの、広大で、はるかに荒々しい地下世界へののぞき穴だ。火山から噴出した溶岩は、摂氏約一〇〇〇度の融点にまで熱せられた液体の岩石である。溶岩は地球上の穴から出て、冷やされ固体になり、火山体を形成する。

地球上でもっとも火山活動が活発な地域は海底山脈と弧状列島である。つまり、二つの大きなプレート（巨大岩盤）の境界で、お互いに離れていく場所か、あるいは一方が他方の下にもぐりこんでいく場所だ。海底には、地震が多発したり、蒸気や熱水の噴煙を上げている、長い火山噴火地帯があり、ロボットや有人潜水艇が観測を始めている。

溶岩の噴出は地球の内部がきわめて熱いことを意味しているに違いない。実際に、地震学

の研究は、地球全体で、表面からわずか数百キロメートル下にはいくぶんかは溶けている層があることを示している。地球内部が熱い原因の一部は、ウランのような放射性元素が崩壊するときに熱を出すためである。また、たくさんの小天体が互いの重力でくっついて地球をつくり、鉄が沈んで中心核を形成したときに放出された原始的な熱の名残も原因となっているだろう。

溶けた岩石つまりマグマは、周囲の、より重い固体の岩石の割れ目を通って上昇していく。煮えたぎって、赤く泡だった、粘性の高い液体に満たされた広大な地下の洞窟を想像してほしい。その液体は適当な通り道が見つかったら、表面に向かって一気に上昇するのだ。カルデラの頂上からあふれた溶岩と呼ばれるマグマは、実際に地下の世界から上昇してきたのである。呪われた魂は見つからないけれど。

続けざまに噴出して火山体が完成し、もはや溶岩がカルデラのなかへ出てくることがなくなると、火山はほかの山と同じようになっていく。雨や風によって、また最終的には地球表面の大陸プレートの動きによって、ゆっくりと浸食されていく。「海に洗い流されるまでに山はどのくらい長く存在するのだろうか」と、ボブ・ディランは「風に吹かれて」というバラードのなかで問うている。答えは、惑星によって異なる。地球なら典型的なものは約一〇〇〇万年。火山もほかの山もそれくらいの時間で形成されるに違いない。さもなければ地球のいたるところが、カンザス州のような平面になってしまう（＊2）。

火山噴火は、主に硫酸の細かいしずくからなる物質を大量に大気中に噴き上げる。それらは一、二年間は大気中にとどまって太陽光を宇宙に反射するので、地球の温度を下げる。最近ではフィリピンの火山、ピナツボ山がそうだった。ひどかったのはインドネシアのタンボラ火山の噴火で、この年、つまり一八一五〜一六年は「夏のない年」といわれ、大飢饉がもたらされた。一七七年のニュージーランドのタウポ火山の噴火は、世界を半周して地中海に寒冷な気候をもたらし、グリーンランドの氷に細かい粒子を降らせた。紀元前四八〇三年の、クレーター湖と呼ばれるカルデラを残したオレゴン州のマザマ山の噴火は、北半球全体の気候に重大な影響を与えた。火山の気候への影響を調べる研究は、核戦争によって起こる同様の現象、「核の冬」の発見につながった。それらは将来の気候変化を予測するコンピュータモデルに対して重要な試金石になった。また、火山粒子が大気上層に放出されることは、オゾン層を薄くするもう一つの原因にもなっているのである。

したがって、めったに人の行かない奥地で非常に大規模の火山爆発があれば、全地球の環境に変動をもたらす恐れがある。火山を起源と影響の両方から見ると、地球内部でのささやかなげっぷやくしゃみのような小さな動きに対しても、私たちはいかにもろいか、そして地下の熱の働きを理解することがいかに重要であるかを、思い知らされる。

地球だけでなく、月、火星、金星が形成される最終段階では、小天体の衝突によって、表

面全体を覆うマグマの海ができたと思われる。溶けた岩石が、それまでの地形の上にあふれ出たのである。大洪水、何キロメートルもの高さに達する大津波、そして灼熱した液体のマグマが内部から噴出して惑星の表面いっぱいにあふれ、通り道にある山や谷やクレーターなどあらゆるものを埋めつくし、それ以前の穏やかだった時代の証拠をすべて消し去った。地質学的なものさしが改めてセットし直されたのだ。入手可能なあらゆる表面の地質記録は、この最後の全面的なマグマの洪水から始まるのである。冷やされ固体になる前の溶岩の海はおそらく数百キロあるいは数千キロメートルの厚さがあっただろう。何十億年ものちの今日、荒れ狂った天体の表面は静かでひっそりとして、現在は火山活動の兆候もないようである。もしかすると、地球と同じように、表面全体が溶岩であふれていた時代の名残が、小規模ながら起こっているのかもしれない。

惑星地質学が誕生したばかりのころ、私たちが入手できるのは、地上の望遠鏡で観測したデータだけだった。月のクレーターは衝突によるものか火山によるものかということで、半世紀にわたって熱い論争が続いた。頂上にカルデラがある低い山がいくつか見つかっており、これが月の火山であることはほぼ明らかだった。しかし、お椀型やフライパン型のクレーターで、山の頂でなく平坦地にあるものは別だ。地質学者のなかには、それらと浸食が進んだ地球の火山とは似ているという人もいる。それを認めない人もいる。幸いなことに、私たちは過去に小惑星や彗星が月に接近したことを知っている。時には衝突し、クレーターができ

たに違いない。月の歴史を通じてそのようなクレーターが多数形成されてきたに違いない。私たちが見ているクレーターが衝突の痕でないとすれば、いったいどこに衝突クレーターがあるというのだろうか。実験の結果、現在では、月のクレーターはほとんどが衝突によるものであることが分かっている。いまはほとんど死んでいるが、この小さな天体は、四〇億年前には、内部に熱源があって原始的な火山活動が起こり、激しく泡だつ世界だったのだ。その内部熱源はとっくの昔になくなっている。

一九七一年一一月、NASA（米国航空宇宙局）の惑星探査機マリナー9号が火星に到着したとき、この惑星全体が砂嵐によって完全に隠されていた。見ることができたのは、赤みがかった砂嵐の上に顔を出している四カ所の丸い地点だけであった。それにしても、何とも変わっていた。頂上に穴があったのである。嵐が晴れると、私たちは巨大な山頂カルデラを持ち、ちりの雲を突き抜ける四つの巨大な火山を見つけたのである。

嵐が消えたあとで、火山の本当の規模が明らかになった。ギリシャの神々が住んだ山にちなんで、オリンポス山と名づけられた最大の火山は、高さが二万五〇〇〇メートル以上もあり、地球最大の火山ばかりでなく、あらゆる山をはるかにしのいでいる。チベット高原のエベレスト山だって九〇〇〇メートルほどしかない。火星には大きな火山が約二〇あるが、オリンポス山ほど大きいものはない。その体積は地球の最大の火山、ハワイのマウナロアの約一〇〇倍である。

山頂カルデラとは異なる、小さな小惑星の落下によって山腹にできた衝突クレーターを数えると、火山の古さが推定できる。火星が形成された四五億年前に遡れるものはなかったが、火星の火山のいくつかは二〇億年から三〇億年前のものであることが分かった。オリンポス火山を含むいくつかは比較的新しく、おそらく二、三億年前にできたものだ。火星の歴史の初期には巨大な噴火が起こり、今日より濃い大気をつくったことは明らかだ。もしそのとき訪れることができたら、どんな光景が見られただろうか。

いくつかの火星の火山堆積物、たとえばケルベロス地区のものは、二億年前にできている。証拠はないけれども、太陽系最大のオリンポス山は再び活動を開始する可能性があるのではないかと、私は思う。忍耐強い火山学者なら、もちろんこの出来事を歓迎するだろう。

一九九〇年から九三年にかけて、惑星探査機マゼランは、金星の地形に関してレーダーで調べた驚くべきデータを送ってきた。地図作製者はほぼ金星全体の地図を、アメリカンフットボールのゴールラインからゴールラインの距離、つまり約一〇〇メートルの精度でつくることができた。マゼランが送ってきたデータはほかのすべての惑星探査を合わせたより膨大なものだった。おそらく米ソ海軍の秘密のデータを別にすれば、海洋底には未探査領域がたくさんあるから、私たちは地球を含むすべての惑星表面の地形より金星の地形を詳しく知っていることになる。金星の地質のほとんどは地球やほかのどこかで見られたものと違っていた。惑星地質学者はこれらの地形に名前をつけたが、それらがどのようにできたのかを完全

太陽系最大の火山、オリンポス山。山腹に衝突クレーターが少ないことから、かなり若い火山であることが分かる。バイキング撮影。（USGS/NASA提供）

に把握しているわけではない。
　なぜなら金星表面温度は摂氏四七〇度にもなり、地球の表面よりずっと岩石の融点に近い。岩石は地球より浅いところで、軟らかくなり流動するだろう。これがおそらく、金星の多くの地質学的な形態が可塑的で変形しているように見える理由だろう。
　この惑星は火山起源の平地と高台とからなっている。地質学的なものとしては火山円錐丘、盾状火山と思われるもの、そしてカルデラがある。多くの場所で洪水のように噴出した溶岩を見ることができる。平地のなかには直径二〇〇キロメートル以上のものがあり、ふざけて「ダニ」と「クモ」と呼ばれている。なぜなら、それらは同心円によって取り囲まれた円い凹地で、その表面には中心から放射状に細く長い割れ目が延びているからだ。風変わりで平らなパンケーキ・ドームは、地球では見られない地形だが、おそらくは火山の一種で、厚くて粘性の高い溶岩がゆっくりとあらゆる方向に一様に流れてできたのだろう。もっと変わった溶岩流の地形の例は、まだたくさんある。「コロナ」と呼ばれる奇怪な環状構造は直径が約二〇〇〇キロメートルのものまである。息苦しいほど熱い金星表面上の特色ある溶岩流の地形は、地質学的な謎を豊富に提供してくれている。
　変わった地形でもっとも意外だったのは、曲がりくねった流路である。蛇行したり、U字型に湾曲するさまは、まさに地球の河川谷とそっくりだ。もっとも長いものは地球最大の川よりも長い。しかし金星表面は温度が高すぎて、液体の水は存在できない。小さな衝突クレ

ーターがないことから、現在の表面が存続していたあいだは、強力な温室効果を発揮する厚い大気があったということができる。もし大気がもっと薄ければ、中規模の小惑星も大気突入の際に燃え尽きることなく表面に衝突し、クレーターをつくったことだろう。溶岩流は斜面を下り、曲がりくねった水路をつくる。時には、地下を流れて、のちに流れの屋根の部分が崩壊する。しかし金星表面の高い温度といえども、溶岩は熱を放出し、冷えて、速度が落ち、固まり、流れは止まる。マグマが固体になるのだ。溶岩の流れは、固体になる前に、長い流路の一〇パーセントしか進めないはずだ。そこで、金星には特別に粘性がない薄い水のような溶岩ができたに違いない、と考える地質学者もいる。しかしこれは推測にすぎず、残念ながら、ほかにこの考えを支持するデータはない。

厚い大気は非常に濃密なためゆっくりと動くが、微粒子をうまく巻き上げ、運ぶことはできる。金星には風でできた筋模様があり、主に衝突クレーターから始まっている。風が、そこで大量の砂やちりをこすりとり、表面に風向きを示すしるしを刻み込むのである。砂丘が点在する平地や風食に刻まれた火山地形がそこここに見られる。これらの風食過程はまるで海の底でのようにゆっくりと進む。金星表面での風は弱い。やや強い突風でないと微粒子を雲のように立ち上げることはできないだろうが、息苦しいほどの焦熱地獄のなかを突風が通り抜けていくのはたやすいことではない。

金星には多数の衝突クレーターがあるが、火星や月ほどの数はない。直径二、三キロメー

トルより小さいクレーターは奇妙なことに見当たらない。その理由は分かっている。小さな小惑星や彗星は厚い金星大気に突入すると、表面に着く前に粉砕されてしまうのだ。観察される衝突クレーターの大きさが限られていることは、現在の金星大気の密度の濃さによるのである。マゼランの画像に見られた不規則な斑点は、クレーターをつくる前に厚い大気中で壊れた小天体の名残だと考えられている。

ほとんどの衝突クレーターは驚くほど原形をとどめ、よく保存されている。その後の溶岩流に飲み込まれたのは、ほんの数パーセントに過ぎない。マゼランが明らかにした金星表面はとても新しいのである。四五億年の歴史を持つ金星だが、古い衝突クレーターが少ないことから、五億年前より古いものは消えてしまったに違いない。これを説明できるのは、火山活動による浸食作用だけだ。この惑星の、クレーターも山もほかの地形もすべて、内部から湧き出し、はるか遠くまで流れ、そして固まった溶岩の海によって埋め尽くされたのである。

マグマで覆われた表面が非常に新しいのならば、活火山がいまも残っているのかどうかが気になるところだ。確かなものは発見されていないが、新しい溶岩に取り囲まれ、まだ活動していて噴火もしているように見えるマアト山のような例がいくつかある。火山が時折大気に硫黄化合物を放出しているかのように、高層大気の硫黄化合物が時間とともに変化しているという証拠もある。火山が静かなら、補給されない硫黄化合物は大気から簡単に落ちてしまうはずだ。地球の活火山の上空で時折発生するような稲妻が金星の山頂付近でも観測され

ているが、これは目下、議論されているところである。しかし金星に活動中の火山があるのかどうか、確かなことは分からない。これは将来の探査の課題である。

科学者のなかには、金星表面には五億年前までほとんど地形らしいものはなかったと考えている人もいる。内部から溶岩の海や川があふれ出し、あたりを満たし、覆ってしまうので、どんな地形もできなかったというのだ。もしそうなら、太古の金星の雲のなかから眺められる風景は、単調で変化のないものだっただろう。夜の光景は、赤熱の溶岩が煮えたぎる身の毛のよだつものであったろう。この仮説に従うなら、五億年前まで大量のマグマを地表に供給していた金星の内部熱源は、いまでは消えてしまったことになる。惑星の熱源を使い尽くしてしまったというわけだ。

もう一つのなかなか刺激的な説を、地球物理学者のドナルド・ターコッティが提唱している。金星には地球のようなプレートテクトニクスがあるが、それが活動したりしなかったりする、というものである。現在はプレートテクトニクスが働いていないときで、表面の大陸は動かず、互いに衝突することもなく、それゆえ山が隆起することもなく、深部への沈み込みもない、と彼は考える。しかし、静かな時代が何億年も続いたあとには、必ずプレートテクトニクスが始まり、地表は溶岩の洪水で覆われたり、山の隆起は壊されたり、沈み込みが起こったりして、すべての痕跡は消されてしまう。そんな最後の活動が約五億年前に終わり、あらゆるものがそれ以来静かになっている、とターコッティはいうのである。しかしながら、

コロナと呼ばれる環状の地形の存在は、地質学的な時間では近い将来に、金星表面に大きな変化が再び始まることを意味しているのかもしれない。

一九七九年三月、木星の四つの大きなガリレオ衛星のうちでもっとも内側にあるイオに接近したボイジャー1号は、火星の大火山や金星表面のマグマの洪水よりさらに思いがけないものを私たちにもたらした。そこには、多くの火山を持った、異様で多彩な天体があったのである。驚いたことに、八つの活発な噴煙がガスや微粒子を空に噴き上げていた。ハワイの火山の女神にちなんでペレと名づけられた最大の火山は、イオの上空高く二五〇キロメートルの宇宙空間へ噴水のように噴き上げていた。それは、かつての宇宙飛行士が地球を回っていた軌道よりも高い。四カ月後、ボイジャー2号がイオに到着したころには、ペレの活動はおさまっていたが、ほかの六つはまだ活動中で、さらに新たな噴煙が少なくとも一つ発見された。また、色を劇的に変化させるカルデラも見つかって、スルトと名づけられた。

NASAのカラー画像によって強調されているとはいえ、イオのような色は太陽系のどこにも見当たらない。現在のところ、イオの火山は地球や月、金星や火星のように溶岩を噴出しているのでなく、二酸化硫黄と溶けた硫黄を噴出しているという説が有力である。火山と火山カルデラ、火道、溶けた硫黄の湖がイオの表面を包んでいる。イオの表面と上空では硫黄の各形態とさまざまな硫黄化合物とが検出された。すべてイオの火山が噴出した硫黄であ

る（＊３）。これらの発見から、地下には液体の硫黄の海があり、表面の弱いところからその硫黄が噴出し、低い火山をつくり、のろのろと流れ下り、固まったもので、その色の違いは噴出したときの温度によると考えられる。

月や火星では一〇億年間ほとんど変化していない場所がたくさんある。イオでは表面のほとんどがこの一〇〇年間に、新しい火山の流れによって度重なる洪水に見舞われ、埋め尽くされ、洗い流されているのである。イオの地図はたちまち古くなり、イオの地図作製は成長産業になることだろう。

ここまで分かったのはすべて、ボイジャーの観測のおかげといえよう。現在の火山堆積物で覆われた表面は、五〇年から一〇〇年ごとに大きな変化が起こると思われる。これは幸運なことに確認可能な長さである。イオのボイジャー画像は、五〇年前に地上の望遠鏡から撮影された画質のよくない写真と比較できるし、ボイジャーの一三年後に打ち上げられたハッブル宇宙望遠鏡の画像とも比較することができる。驚くべきことに、イオの表面の大きな目印となるものは、この間、まったく変化してないように見えることである。明らかに、私たちは何かを見落としているに違いない。

火山はある意味で噴出した惑星の内部をあらわしている。火山の傷口は結局冷えることによって癒やされ、新たな出血がそれにとってかわる。違う天体は違う内部を持っている。イ

オで液体硫黄の火山活動が発見されたことは、古くからの知り合いが怪我をしたら緑の血が出てきたのを見つけたようなものだ。そのような違いがあるなどとは考えもしなかったはずだ。彼はとてもふつうに見えたのだから。

私たちはむろん、ほかの天体でも火山活動の兆候を見つけたいと望んでいる。イオの隣人、木星の第二ガリレオ衛星エウロパには火山がまったくないが、溶けた氷すなわち液体の水が、凍りつく前に、縦横に交差する無数の暗い筋模様から表面に噴出したように見える。土星の衛星でも液体の水が内部から噴出し、衝突クレーターを一掃した跡が見つかっている。私たちはまだ木星や土星の衛星で氷の火山らしきものは発見していない。海王星の衛星トリトンでは、窒素かメタンの火山活動が観測されたようだ。

ほかの天体で火山を見ることは感動的である。私たちに驚嘆の念や、美や宇宙の多様性に対する喜びをかきたててくれる。しかし、これらの他天体の魅惑的な火山活動がもたらすものは、それだけではない。いつの日か噴火予知につながるような、私たちの地球の火山を理解する手がかりも与えてくれる。物理的条件が違うほかの環境で何が起こるのか理解できなければ、私たちがもっとも関心を抱く身近な状況について、どれだけ深く理解できようか。火山活動についての一般的な理論はすべての例にあてはまるに違いない。地質学的に静かな火星で巨大な火山に出合うとき、金星表面がつい最近マグマの洪水で更新されたことを発見するとき、地球のような放射性元素の壊変による熱によってではなく近くの天体からの潮汐

力によって溶けている天体を発見するとき、珪素ではなく硫黄の火山活動を観測するとき、外惑星の衛星には水やアンモニア、窒素、メタンの火山活動が見られるのだろうかと思いめぐらすとき、私たちはほかにどんな可能性があるのかを学んでいるのである。

（＊1）紀元前一九七年に近くの海底火山が噴火し、新しい島ができたことが、ストラボンによって記録されている。

（＊2）山や海底の谷があるにしても、私たちの惑星は驚くほど平坦だ。もし地球がビリヤードの玉程度の大きさとすれば、最大の隆起でも一〇分の一ミリ以下。小さすぎて、見たり感じたりできるかどうかの限界だ。

（＊3）イオの火山は、酸素や硫黄などの荷電原子を豊富に供給する場所でもあり、これが木星をとりまくドーナッツ型チューブのぼんやりした環をつくっている。

カラー図版説明

1 アポロ17号から撮影された地球の全景写真。(ＮＡＳＡ提供)

2 銀河の群がる宇宙。ハッブル宇宙望遠鏡が撮影した約三億七〇〇〇万光年離れた、かみのけ座銀河団の一部で、写っている光の点のすべてが銀河である。中央やや右下の大きくてもっとも明るいのが巨大楕円銀河ＮＧＣ４８８１。左端にある、つぎに大きいものが銀河系と同じような渦巻き銀河を正面から見たもの。細長く見えるのは横から見た渦巻き銀河である。二本の巻き髭をひきずったオレンジ色と白の天体は衝突している二つの銀河で、互いの重力で形が歪められている。何もない黒い長方形の部分は未観測の領域。
そのほか多数の小さな銀河はかみのけ座銀河団に属する銀河ではなく、もっとずっと遠くにあるために小さく写っているが、実際にはかなりの大きさがある。将来、さらに望遠鏡の性能が上がれば、もっと遠くの無数の銀河の光が捕らえられるようになるだろう。
この写真の視野は月の見かけの大きさの一パーセントにも満たない小さな天の断片である。つまり全天のわずか一億分の一に過ぎないが、それでもこのなかには、一〇〇兆個を

超える星（その大部分はハッブル宇宙望遠鏡でも捕らえられない暗い銀河のなかにある）が存在し、同じくらい膨大な数の惑星が存在すると考えられている。
それぞれの銀河は二、三億年にほぼ一回の周期で自転している。また銀河どうしも互いに相対運動をしている。そして銀河団自体もほかの銀河団に対して相対運動をしており、周りのすべての銀河団から遠ざかっている。かみのけ座銀河団は、銀河系を含む局部銀河群から秒速七〇〇〇キロメートルで遠ざかっている。これがビッグバンに始まった宇宙膨張である。（ウィリアム・A・バウム、ハッブル宇宙望遠鏡研究所、NASA提供）

3 一九九〇年二月一四日、海王星と冥王星の軌道を越えたところからボイジャー1号が撮影した六つの惑星の写真。（JPL／NASA提供）

4 スペースシャトル・ディスカバリーがブラジルのリオデジャネイロの海岸上空から捕らえた地球の大気の青い帯。日没時のため、入道雲が成層圏まで達しているのが見える。青い帯の上は暗黒の宇宙である。（NASAジョンソン宇宙センター提供）

5 高解像度で見た地球。
上　ワシントン。右手やや上に、緑の木々（写真では赤くなっている）に囲まれた連邦議会議事堂が認められ、そこからたくさんの道が放射状に延びている。左上から中央下に流れるポトマック川に架かる橋の近くに、直線や正方形や長方形にまじって、五角形のペンタゴンがひときわ目立つ。一九九四年、フランス国立宇宙航空センターに

よる。（SPOTイメージ・コーポレーション提供）

下　地球上に生命が存在することを示す証拠。左上に広がる黒い部分は、南カリフォルニアの塩湖ソールトン・シー。格子模様のような、きちんとした四角い緑は農場である。格子模様が途切れているところは、米国とメキシコの国境。写真の色は実際とは異なる。ランドサット撮影。（EOSAT社提供）

6

ボイジャーが撮影した天王星の衛星ミランダ。おそらく太陽系でもっとも異様な風貌だろう。（USGS／NASA提供）

7

それぞれ異なった顔を見せる木星の衛星。ボイジャー撮影。

上　ガニメデの赤道付近。多くの地形は、古代シュメール文明の都市と神の名前にちなんで命名された。USGS（米国地質調査所）が高低によって陰影をつけた。

中　エウロパの高解像度の合成写真。（USGS／NASA提供）

下　左の写真中央下はイオの活火山ロキ・パテラ。右の写真地平線上に見えるのは、ロキ・パテラの火口からたちのぼる噴煙である。（USGS／NASA提供）

8

金星探査機マゼランが撮影した金星の表面。中央の写真は色の違いで高度を示し、上下の写真はレーダー観測による表面反射率の違いを表わしている。黒く写っている直線はデータのない領域。（USGS／NASA提供）

太陽系探査年表（主な成果の最初のもの）

	1950年代	
ソ連／ロシア	57年　地球を回る最初の人工衛星 （スプートニク1号） 動物がはじめて宇宙を飛ぶ （スプートニク2号、ライカ犬） 59年　地球重力から脱出した最初の探査機 （ルナ1号） 太陽を回る最初の人工惑星（ルナ1号） 他天体に衝突した最初の探査機 （ルナ2号が月に） 月の裏側をはじめて観測（ルナ3号）	61年　はじめての有人宇宙飛行 （ウォストーク1号でガガーリン） はじめての有人地球周回飛行
米国	58年　宇宙における最初の科学的発見 （エクスプローラー1号がバン・アレン帯を飛ぶ） 59年　宇宙から見たはじめての地球像 （エクスプローラー6号）	62年　惑星間空間で最初の科学的発見 （マリナー2号が太陽風を） はじめて惑星観測に成功

1960年代	1970年代
（ウォストーク1号） 他惑星にはじめて接近した探査機 （ベネーラ1号が金星に） 62年　はじめて火星に接近（マルス1号） 63年　宇宙を飛んだ最初の女性飛行士 （ウォストーク6号でテレシコワ） 64年　複数の飛行士による最初の宇宙飛行 （ウォスホート1号） 65年　最初の宇宙遊泳 （ウォスホート2号でレオーノフ） 66年　他天体にはじめて軟着陸成功 （ルナ9号が月に） 他天体を周回した最初の探査機 （ルナ10号が月を）	70年　他天体から地球にはじめての無人試料回収（ルナ16号が月から） 無人自動車がはじめて他天体を走る （ルナ17号が月で） 71年　他惑星にはじめて軟着陸成功 （マルス3号が火星に） 72年　他惑星に軟着陸、初の観測成功
（マリナー2号が金星を） 最初の天文観測衛星 （OSO1号が太陽を） 68年　他天体をはじめて有人周回飛行 （アポロ8号が月を） 69年　他天体にはじめて有人着陸 （アポロ11号が月に） 他天体から地球に最初の試料回収 （アポロ11号が月から）	71年　有人自動車がはじめて他天体を走る （アポロ15号が月で） 他惑星を周回した最初の探査機 （マリナー9号が火星を） 73年　はじめて木星に接近（パイオニア10号） 太陽系脱出速度を得た最初の探査機

1970年代	1980年代
（ベネーラ8号が金星で）	83年　他惑星をはじめて地図作製用にレーダー観測（ベネーラ15号が金星で） 85年　他惑星ではじめての気球観測（ベガ1号が金星で） 86年　はじめて彗星に接近（ベガ1号がハレー彗星に） 88年　最初の恒久的宇宙ステーション（ミール） はじめて宇宙滞在一年を達成（チトフ、マナロフ）
（パイオニア10号） 74年　はじめて水星に接近（マリナー10号） 複数の惑星を観測した最初の探査機（マリナー10号が金星と水星を） 76年　火星着陸に成功し、はじめて他惑星で生命をさがす（バイキング1号） 77年　はじめて土星に接近（パイオニア10号）	81年　最初の再使用可能な宇宙船（スペースシャトル・コロンビア） 84年　はじめて人工衛星の回収・修理・再放出に成功（スペースシャトル・チャレンジャーがSMM衛星を） 85年　最初の彗星観測（ICE探査機がジャコビニ・ツィンナー彗星を） 86年　はじめて天王星に接近（ボイジャー2号） 89年　はじめて海王星に接近（ボイジャー2号）

1990年代
92年 はじめてヘリオポーズを観測 (ボイジャー1、2号) 小惑星帯の小惑星にはじめて接近 (ガリレオ探査機がガスプラに) 94年 小惑星の衛星を発見 (ガリレオ探査機がイーダに)

惑星へ（下）目次

【著者略歴】

カール・セーガン　CARL SAGAN

一九三四年〜九六年。元コーネル大学教授、同大学惑星研究所長。マリナー、バイキング、ボイジャーなどNASAの惑星探査計画で指導的な役割を果たした。著書に『宇宙との連帯』(河出書房新社)、『エデンの恐竜』(ピュリツァー賞受賞)(秀潤社)、『COSMOS』(朝日文庫)、『サイエンス・アドベンチャー』(新潮社)、『はるかな記憶』(アン・ドルーヤンとの共著　朝日文庫)などがある。

【訳者略歴】

森暁雄(もり・あけお)

一九三七年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。「科学朝日」編集長、科学部長、調査研究室主任研究員などを経て、現在朝日新聞社友。訳書にコールダー『爆発する宇宙』(小尾信彌との共訳　朝日新聞社)、ラーナー『望遠鏡の歴史』(同上　朝倉書店)、ライトマン『天文学の新時代』(朝日新聞社)などがある。

岡明人(おか・あきひと)

朝日新聞事業開発本部幹事。一九四三年生まれ。東京大学工学部原子力工学科卒業。

辻篤子(つじ・あつこ)

朝日新聞アメリカ総局員。一九五三年生まれ。東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学分科卒業。

五十嵐道子(いがらし・みちこ)

朝日新聞東京本社科学部員。一九五八年生まれ。東京大学理学部天文学科卒業。

瀬川茂子(せがわ・しげこ)

朝日新聞出版局「ＳＣＩａＳ」編集部員。一九六二年生まれ。東京大学理学部地学科卒業。

●朝日文庫●

太陽系の果てから振り返れば、地球は宇宙の闇に浮かぶ青白い点にすぎない——。米国の宇宙探査の初期から指導的役割を果たしてきた著者が、世界的ベストセラー『コスモス』について送る惑星たちの鮮明な素顔。ボイジャーとガリレオが調べたその姿を、NASAの最新データも駆使して克明に描く。

ISBN4-02-261228-2 C0136 ¥700E

朝日新聞社

定価：本体700円＋税